



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE
LIOFILIZACIÓN DE EXTRACTO DE GRILLOS DOMÉSTICOS (*ACHETA
DOMESTICUS*) SOBRE SU CONTENIDO PROTEICO"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

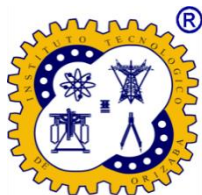
I.Q. AMEYALI HERNÁNDEZ LORMENDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

CODIRECTOR DE TESIS:

DRA. HAYDEE ELIZA ROMERO LUNA



Orizaba, Veracruz, México

Febrero, 2024



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **20/febrero/2024**

Dependencia: División de Estudios de
Posgrado e Investigación
Asunto: Autorización de Impresión
Opción: I

C. Ameyali Hernández Lormendez
Candidata a Grado de Maestra en
Ciencias en Ingeniería Química
P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"Evaluación de la eficiencia térmica del proceso de liofilización de extracto de grillos Domésticos (*Acheta domesticus*) sobre su contenido proteico".

Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

Dra. Ofelia Landeta Escamilla
Encargada de la División de Estudios
de Posgrado e Investigación



OLE/NAVC

OC-13-F06



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, 06/febrero/2024
Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

AMEYALI HERNÁNDEZ LORMENDEZ

La cual lleva el título de:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN DE EXTRACTOS
DE GRILLOS DOMÉSTICOS (ACHETA DOMESTICUS) SOBRE SU CONTENIDO PROTEÍCO**

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

SECRETARIO: DR. GALO RAFAEL URREA GARCÍA

VOCAL: DR. DENIS CANTÚ LOZANO

VOCAL SUP.: DRA. HAYDEE ELIZA ROMERO LUNA


FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

TA-09-18



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
PRESENTE DEL INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE ORIZABA

Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 21 del mes de Febrero del año 2024.

El(la) que suscribe

C Ameyali Hernández Lormendez

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 105 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN DE
EXTRACTO DE GRILLOS DOMÉSTICOS (*ACHETA DOMESTICUS*) SOBRE SU
CONTENIDO PROTEICO”**

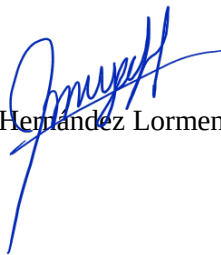
del programa: Maestría en Ciencias en Ingeniería Química bajo la asesoría y dirección del (la) Dra. Guadalupe Solano y Dra. Haydee Eliza Romero Luna y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Ameyali Hernández Lormendez



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, pilares inquebrantables en mi vida. Gracias por sus enseñanzas y palabras de apoyo que me han ayudado a ser una mujer de bien y son cimientos fundamentales en mis logros. Gracias por su infinita paciencia y amor que me han acompañado en cada paso de mi camino. Gracias por enseñarme a soñar y nunca soltar mi mano, porque este logro que comparto con ustedes, es tan suyo como mío.

A mi adorado hijo, el farol de mi vida. Tu presencia es la fuente inagotable de inspiración que me impulsa a perseguir mis sueños y perseverar ante la adversidad. Eres mi orgullo y mi alegría, y agradezco a Dios y a la vida por darme la oportunidad de ser tu madre y guiar tus pasos.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Orizaba que ha sido más que un lugar de estudio, mi hogar intelectual.

Agradezco a la Dra. Guadalupe Luna Solano y a la Coordinación de Maestría, por brindarme ese apoyo incondicional y sobre todo, por darme la oportunidad de trabajar en conjunto con ustedes.

A mis compañeros y amigos, que han compartido esta travesía conmigo.

Agradezco a CONAHCYT, que hizo posible este logro. La beca que me brindaron fue más que un respaldo financiero, fue un voto de confianza.

RECONOCIMIENTO ACADÉMICO

2023	Presentación	“Liofilización y caracterización de extracto de grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)” Presentación en el Encuentro Nacional de la AMIDIQ, Huatulco, Oax. 30 mayo – 02 junio.
2023	Presentación	“Efecto de la liofilización sobre las características fisicoquímicas y térmicas del extracto de grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)” Presentación en el Evento Internacional Coloquio de Investigación multidisciplinaria Orizaba, Orizaba, Ver. 16–20 octubre.

RESUMEN

Elaborado por: I.Q Ameyali Hernández Lormendez

Dirigido por Dra. Guadalupe Solano Luna

Dra. Haydee Eliza Romero Luna

El objetivo de la presente investigación fue la obtención de un alimento funcional deshidratado de extracto de grillo doméstico (*Acheta domestica*) mediante el método de secado por liofilización, con la finalidad de conservar las propiedades fisicoquímicas y el contenido proteico que caracteriza al insecto fresco. Así como la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, proximales y el efecto térmico del producto.

Para tal fin, se emplearon cuatro tipos de muestras, dos muestras de extracto de grillo doméstico, a las que se aplicó un diseño de experimento 2^3 , y dos muestras de grillo domestico fresco, a las que se aplicó un diseño de experimento 2^2 . Los valores obtenidos en este estudio se sometieron a un análisis estadístico ANOVA con prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), el cual indicó el efecto significativo de los factores considerados (contenido de solidos totales, porcentaje de maltodextrina, faena y presión) sobre las respuesta evaluadas (a_w , humedad, luminosidad, proteína, grasas, carbohidratos, cenizas totales, capacidad calorífica y conductividad térmica).

En este estudio se pudo demostrar que el método de secado por liofilización fue eficiente, no solo debido a que se logró potenciar en un aproximado del 50 %, el contenido proteico del producto deshidratado del extracto de grillo, en comparación del contenido proteico del grillo fresco, sino que a su vez, se logró mejorar las propiedades fisicoquímicas y proximales de dicho producto. Además, se comprobó que el efecto térmico del producto sobre el método de secado, está sujeto a la contenido de agua encontrada en la muestra. Asimismo, se obtuvieron valores óptimos de a_w y humedad, lo cuales garantizaron la calidad y estabilidad de almacenamiento del producto obtenido.

ABSTRACT

By: I.Q. Ameyali Hernández Lormendez

Advisor (s): Dra. Guadalupe Solano Luna

Dra. Haydee Eliza Romero Luna

The aim of this research was to obtain a dehydrated functional food from domestic cricket (*Acheta domesticus*) extract by freeze-drying, in order to preserve the physicochemical properties and protein content that characterizes the fresh insect. As well as the evaluation of the physicochemical and proximal properties and the thermal effect of the product.

For this purpose, four types of samples were used, two samples of domestic cricket extract, to which a design of experiment 2^3 was applied, and two samples of fresh domestic cricket, to which a design of experiment 2^2 was applied. The values obtained in this study were subjected to an ANOVA statistical analysis with Tukey's test ($\alpha=0.05$), which indicated the significant effect of the factors considered (total solids content, maltodextrin percentage, dressing and pressure) on the evaluated responses (a_w , humidity, luminosity, protein, fat, carbohydrates, total ash, heat capacity and thermal conductivity).

In this study it was possible to demonstrate that the freeze-drying method was efficient, not only because the protein content of the dehydrated cricket extract product was increased by approximately 50 % compared to the protein content of fresh cricket, but also the physicochemical and proximate properties of the product were improved. In addition, it was proved that the thermal effect of the product on the drying method is subject to the amount of water found in the sample. Likewise, optimum values of a_w and humidity were obtained, which guaranteed the quality and storage stability of the product obtained.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBEJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
1.1 Insectos: una fuente alternativa de alimento	5
1.1.1 Valor nutricional de los insectos	7
1.1.2 La orden Ortóptera	8
1.1.3 Estructura anatómica del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	10
1.1.4 Composición y valor nutritivo del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	11
1.1.5 Ciclo de vida del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	13
1.1.6 Cría y reproducción del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	13
1.1.7 Perfil de riesgo	14
1.2 Proceso de secado	16
1.2.1 Procesamiento térmico de materiales biológicos	17
1.2.2 Métodos generales del secado	18
1.2.3 Liofilización	18
1.2.4 Aplicaciones de la liofilización	21
1.3 Aditivos alimentarios	22
1.3.1 Los aditivos en la liofilización	22
1.3.2 Maltodextrina	24
1.4 Composición proximal en alimentos	24
1.4.1 Actividad de agua	24
1.4.2 Humedad	27
1.4.3 Color	28
1.4.4 Carbohidratos	29
1.4.5 Proteínas	30
1.4.6 Grasas	33
1.4.7 Cenizas totales	35

1.5 Propiedades térmicas en alimentos	36
1.5.1 Conductividad térmica	36
1.5.2 Calor específico	37
1.6 Diseño de experimento	37
1.7 Estudios previos	38
 CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	 42
2.1 Metodología general	42
2.2 Selección de la muestra	42
2.3 Análisis fisicoquímico del grillo	43
2.3.1 Determinación de actividad de agua	43
2.3.2 Determinación del contenido de humedad	44
2.3.3 Análisis de color	45
2.4 Acondicionamiento de la muestra	46
2.5 Proceso de liofilización	47
2.5.1 Diseño de experimento	47
2.6 Análisis proximal	49
2.6.1 Proteína	49
2.6.2 Grasas	50
2.6.3 Cenizas	50
2.6.4 Carbohidratos	51
2.7 Análisis térmico	51
2.7.1 Determinación de la conductividad térmica	52
2.7.2 Determinación de calor específico	52
 CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 54
3.1 Caracterización del extracto de grillo y del grillo entero fresco (<i>Acheta domesticus</i>)	54
3.1.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico fresco	54
3.1.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico fresco	55
3.1.3 Análisis fisicoquímico y proximal del grillo domestico fresco	57
3.1.4 Análisis proximal del grillo domestico fresco	58

3.2 Aplicación del proceso de liofilización del extracto de grillo (<i>Acheta domesticus</i>)	59
3.3 Caracterización del extracto de grillo y del grillo liofilizado (<i>Acheta domesticus</i>)	60
3.3.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico liofilizado	62
3.3.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico liofilizado	66
3.3.3 Análisis fisicoquímico del grillo domestico liofilizado	68
3.3.4 Análisis proximal del grillo domestico liofilizado	71
3.4 Propiedades térmicas del extracto de grillo y del grillo doméstico liofilizado (<i>Acheta domesticus</i>)	72
3.4.1 Propiedades térmicas del extracto de grillo domestico previo y posterior al liofilizado	72
3.4.2 Propiedades térmicas del extracto de grillo domestico previo y posterior al liofilizado	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
ANEXO A	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3 Representación esquemática del ciclo vital del grillo doméstico (<i>Acheta domestica</i>)	13
Figura 1.5 Diagrama del ciclo de vida de una proteína hipotética	31
Figura 2.1 Metodología general del proceso de secado por liofilización, caracterización fisicoquímica y análisis de composición proximal de grillo y el extracto de grillo	42
Figura 3.1. Extracto de grillo doméstico (10 y 15 % de sólidos totales) y los grillos frescos.	43
Figura 2.2 Activador de agua marca VTSYIQI, modelo VTS-160 ^a	44
Figura 2.3 Termobalanza marca Sartorius, modelo MA35M.000115M1	44
Figura 2.4 Colorímetro marca HunterLab, modelo MiniScan XE	45
Figura 2.5 Colorímetro marca HunterLab, modelo ColorQuest XE	46
Figura 2.6 Liofilizador de la marca LABCONCO, modelo 742002	47
Figura 3.1 Muestras liofilizadas del extracto de grillo (<i>Acheta domestica</i>)	60
Figura 3.2 Color y tamaño de partícula de las muestras liofilizadas del extracto de grillo (<i>Acheta domestica</i>)	61
Figura 3.3 Muestras liofilizadas del grillo (<i>Acheta domestica</i>)	62
Figura 3.4 Color y tamaño de partícula de las muestras liofilizadas del grillo (<i>Acheta domestica</i>)	62
Figura 3.5 Parámetro ΔE del extracto de grillo doméstico liofilizado (<i>Acheta domestica</i>)	66
Figura 3.9 a) conductividad térmica y b) calor específico del extracto liofilizado del grillo domestico	73
Figura 3.10 a) conductividad térmica y b) calor específico del grillo domestico liofilizado	74

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1.1 Valor nutritivo de algunos insectos comestibles (g/100g de insecto)	8
Tabla 1.2 Diferencias entre los subórdenes Caelifera y Ensifera	10
Tabla 1.3 Actividad de agua y crecimiento de microorganismos en los alimentos	26
Tabla 2.1. Diseño experimental para la liofilización.	48
Tabla 2.2. Diseño experimental para la liofilización.	48
Tabla 3.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico fresco	55
Tabla 3.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico fresco	56
Tabla 3.3 Análisis fisicoquímico del grillo domestico fresco	57
Tabla 3.4 Análisis proximal del grillo domestico fresco	58
Tabla 3.5 Contenido de humedad y actividad de agua del extracto de grillo domestico liofilizado	63
Tabla 3.6 Parámetro de color del extracto de grillo domestico liofilizado	65
Tabla 3.7 Análisis proximal del extracto de grillo domestico liofilizado	67
Tabla 3.8 Contenido de humedad y actividad de agua del grillo domestico liofilizado	69
Tabla 3.9 Parámetros de color del grillo domestico liofilizado	70
Tabla 3.10 Análisis proximal del grillo domestico liofilizado	71

INTRODUCCIÓN

Las dificultades que creíamos lejanas como sociedad, hoy en día nos están alcanzando, y uno de estos problemas globales, es encontrar la manera de alimentar a toda la población con cantidades apropiadas de alimentos y en particular, con un suministro adecuado de proteínas, ya que estas macromoléculas desempeñan un rol importante en diversas funciones celulares de los seres humanos.

Esto nos ha generado la necesidad de buscar fuentes alternativas de alimentos no convencionales, como el consumo de insectos comestibles, debido a su alto valor nutricional y por sus condiciones de cría respetuosa con el medio ambiente.

Desde tiempos antiguos el ser humano ha introducido la ingesta de insectos en su dieta alimenticia. Uno de los países que se destaca en esta práctica es México, sobre todo en los estados del sur, centro y sureste, contando con 549 especies de insectos comestibles. Sin embargo, en los últimos años, los grillos *Acheta domesticus* han demostrado ser extremadamente valiosos en términos de valor nutricional, ya que no sólo contienen cantidades importantes de proteínas o grasas, sino también de vitaminas y minerales. Además, se le considera uno de los insectos de cría más prometedores debido a su menor índice de conversión alimenticia en comparación con otros animales.

La comercialización del grillo *Acheta domesticus* es un negocio internacional en expansión, con una previsión de ingresos de \$1.07 millones de dólares para el 2022 y un valor global de ingresos que supera los \$8 mil millones de dólares para el 2030. Esto debido a la gran demanda de productos a base de este grillo, como proteínas en polvo, barras de granola, pan, pasta, fajitas, galletas o galletas saladas. En México ya existen empresas consolidadas que se dedican a la promoción y venta de este producto.

El presente trabajo pretende desarrollar una técnica de conservación de alimento, en donde se mantenga el valor nutricional del grillo doméstico (*Acheta domesticus*),

a través del método de secado por liofilización, el cual consiste en eliminar la mayor cantidad de humedad del producto, calculando los parámetros exactos de este proceso. Esta técnica de conservación de alimento, agregará un valor sustancioso de aroma y textura al producto. De igual forma, se evaluará el efecto térmico que tiene este proceso de secado sobre las características fisicoquímicas del grillo doméstico (*Acheta domestica*).

OBJETIVOS

OBEJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto térmico del proceso de liofilización para la obtención de un producto en polvo de extracto de grillos conservado sus características fisicoquímicas y contenido proteico del insecto fresco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar fisicoquímica los grillos comestibles y el extracto de grillo.
2. Establecer las condiciones del proceso de liofilización para llevar a cabo la deshidratación del extracto de grillo.
3. Evaluar estadísticamente el efecto térmico sobre las características fisicoquímicas del extracto de grillo deshidratado por liofilización.
4. Determinar estadísticamente el efecto de las condiciones térmicas sobre la degradación de proteína del extracto de grillo durante el proceso de secado.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Insectos: una fuente alternativa de alimento

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda la ingesta de insectos comestibles como una alternativa dietética debido a su alto valor nutricional y su cría respetuosa con el medio ambiente. Zargozano (2018), define a esta práctica se conoce como entomofagia, y forma parte de las costumbres culinarias de diversas poblaciones étnicas regionales y nacionales. La entomofagia, se presenta como una opción viable y progresista en la industria alimentaria y a la conservación ambiental.

El origen del término insecto proviene del latín “insectum”, que significa “con cuerpo entallado o dividido”, en referencia a la estructura corporal compuesta por tres partes: cabeza, tórax y abdomen. El exoesqueleto de los insectos les proporciona protección contra los factores del medio ambiente, asimismo, presentan diversas metamorfosis que les permite adaptarse a las cambiantes condiciones estacionales. Con un metabolismo de sangre fría y capacidad de vuelo, los insectos son considerados los únicos invertebrados con la capacidad de alzar vuelo. Su sistema respiratorio se compone de tubos traqueales que les otorgan la capacidad de tolerar variaciones de presión y vacío, incluso en altitudes elevadas y ante la exposición a la radiación. Su reproducción acelerada favorece a la formación de grandes poblaciones, además, suelen prescindir de cuidados parentales.

La entomofagia, se promueve en base a tres razones fundamentales, tal como lo explica van Huis *et al.*, (2013). La primera de ellas se vincula al impacto positivo que tiene en la salud, esto debido a que los insectos representan una alternativa saludable y nutritiva a las fuentes de alimento convencionales, tales como el pollo, el cerdo, la res e incluso el pescado. Este hecho se debe en gran parte a que los insectos poseen un alto contenido proteico y de grasas saludables, además de presentar una elevada concentración de minerales como calcio, hierro y zinc.

La segunda razón por la cual se promueve la entomofagia radica en su producción, ya que las granjas de insectos generan significativamente menor cantidad de gases

de efecto invernadero, como el metano y el amoníaco, en comparación a la producción convencional de ganado, como el vacuno o porcino. Por lo cual se convierte en una opción más sostenible y amigable con el medio ambiente. Además, las granjas de insectos no requieren desmonte de tierra para ampliar la producción y recursos hídricos. Otra ventaja es que los insectos pueden alimentarse con residuos orgánicos y al ser insectos de sangre fría, aumentan su eficiencia en la conversión de alimento en proteína.

La tercera razón reside en la recolección y reproducción de insectos, ya que representa una alternativa de inversión baja referente a costos, tecnología y recursos, la cual proporciona una salida laboral y productiva incluso a los estratos socioeconómicos más desfavorecidos. En adición, este tipo de granjas funcionan como una vía de subsistencia para la sociedad.

Además, el estudio realizado por van Huis *et al.*, (2013), ha puesto en manifiesto que los grupos más frecuentemente consumidos son los escarabajos, las orugas, abejas, avispas, hormigas saltamontes, langostas, cigarras, cochinillas, termitas, libélulas, moscas, así como los grillos. El consumo de la orden Coleoptera en todo el mundo alcanza el 31%, seguido por la orden Lepidóptera con un 18%, la orden Himenóptera con un 14%, la orden Orthoptera con un 13%, la orden Hemíptera con un 10%, la orden Isoptera con un 3%, la orden Odonata con un 3%, la orden Díptera con un 2% y otras órdenes con un 5%. La Figura 1.1 ilustra de forma gráfica la cantidad de especies de insectos comestibles que se consumen a nivel mundial.

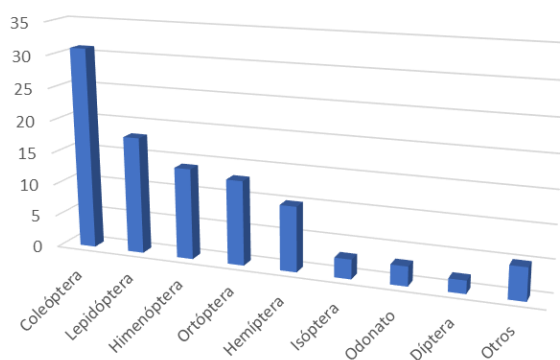


Figura 1.1 Número de especies de insectos, por orden consumidas a nivel mundial.

1.1.1 Valor nutricional de los insectos

Se ha presentado una considerable atención y dedicación al estudio de los insectos comestibles como un recurso viable para abordar la problemática de seguridad alimentaria, en virtud de su condición como excelente fuente de proteína. Esto se debe a la capacidad de los insectos de producir una cantidad significativa de proteínas en un lapso relativamente breve, gracias a sus cortos ciclos de vida en comparación con el ganado convencional. Las investigaciones en esta área se han centrado en la evaluación de la calidad nutricional de los insectos y en el desarrollo de tecnologías adecuadas para su producción y procesamiento eficiente.

Asimismo, los insectos exhiben una eficiencia nutricional sobresaliente, es decir, su habilidad para convertir el alimento ingerido en peso corporal es comparable a la del pollo. Es importante destacar que muchos de los insectos comestibles presentan una dieta estrictamente herbívora. Además, presentan un contenido elevado en proteínas y vitaminas, particularmente del complejo B.

Zargozano (2018) evidenció que los insectos comestibles, en comparación con la carne porcina y bovina, exhiben una mayor concentración de micronutrientes esenciales, tales como calcio, zinc y hierro, lo que sugiere que su consumo puede representar una alternativa viable para combatir la hambruna oculta que afecta a los países en subdesarrollo. Además, debido a los bajos niveles de sodio presente en los insectos comestibles, pueden ser incorporados sin dificultad en la alimentación de individuos con hipernatremia.

A continuación, se presenta en la Tabla 1.1 las propiedades nutrconales de algunos de los insectos comestibles más destacados. No obstante, es pertinente destacar que la estructura de los componentes varía entre las especies, e incluso dentro del mismo orden y familia taxonómica.

Tabla 1.1 Valor nutritivo de algunos insectos comestibles (g/100g de insecto)

Insecto (Orden)	Proteínas	Grasas	Sales minerales	Fibra cruda	Extracto libre de nitrógeno
Libélulas (Odonata)	56.22	22.93	4.20	16.61	0.02
Langostas, saltamontes (Orthoptera)	77.63	4.20	2.40	12.13	4.01
Chinches (Hemiptera)	62.8	9.67	8.34	10.46	8.70
Mariposa (Lepidoptera)	58.82	6.80	6.09	26.22	1.98
Moscas (Diptera)	35.81	5.80	31.12	22.00	5.18
Escarabajo (Coleoptera)	31.21	34.30	1.72	32.72	0.05
Hormigas, abejas (Hymenoptera)	60.60	10.61	6.36	10.18	13.14

1.1.2 La orden Ortóptera

La denominación Ortóptera, cuyo origen se remonta a la lengua griega con el término “ortho”, que significa recta y “ptera”, que significa alas, hace referencia a una orden taxonómica que comprende un número cercano a 20,000 especies a nivel mundial, tal como lo reexporta van Huis *et al.*, (2013). Si bien estas especies son en su mayoría originarias de áreas tropicales, su distribución se extiende cosmopolitamente. La longitud de los insectos que pertenecen a esta orden puede variar significativamente, oscilando entre los 5 mm (raramente menor) hasta los 120 mm o más, con una extensión alar de hasta 23 cm.

En esta orden se encuentran a las langostas, saltamontes, grillo y grillotopos, según lo descrito por Barrientos-Lozano (2004). La mayoría de los Ortópteros presentan una dieta predominantemente fitófaga, aunque existen ciertas especies que se alimentan de otras presas o de desechos orgánicos, y únicamente unas pocas especies son omnívoras. Su desarrollo se somete a un proceso metamórfico simple, el cual consta de tres fases: huevo, ninfa y adulto. En cuanto a la morfología, en su etapa adulta pueden presentar una estructura alar bien desarrollada, una estructura alar reducido o incluso carecer de alas en absoluto. El primer par de alas generalmente está bien desarrollado, engrosado y con muchas venas, y se le identifica como tegmina; el segundo par de alas es membranoso. La estructura bucal se encuentra adaptado para la masticación, mientras que las patas posteriores se distinguen por ser robustas y adaptadas para saltar de manera eficiente.

Estos organismos se caracterizan por presentar torsos polisegmentados que oscilan entre dos y cuatro segmentos, además de presentar un cuerpo alargado que en ciertas especies se acompaña de un ovipositor desarrollado, mientras que, en otras, tal estructura es de menor dimensión. Además, se ha evidenciado que las antenas de estos organismos son de considerable longitud, a veces superan en extensión a la propia estructura corporal.

La elaboración de señales acústicas mediante la emisión de sonidos representa un mecanismo de comunicación altamente sofisticado en la orden Ortóptera, en donde los individuos encargados de producir estas señales suelen ser los machos, y los generan por medio de estridulación, mediante la fricción de ciertas partes de su cuerpo. Este comportamiento acústico se manifiesta en distintas circunstancias, tales como la defensa ante depredadores o en la época de apareamiento. Es relevante destacar que cada especie exhibe un repertorio sonoro único y diferenciable, lo que se traduce en patrones sonoros específicos para su identificación taxonómica.

Además, el trabajo de Barrientos-Lozano (2004) brinda evidencia concluyente en cuanto a la existencia de dos subórdenes bien diferenciados dentro de la categoría

taxonómica Ortóptera: Caelifera y Ensifera. El referido trabajo destaca las notables divergencias existentes entre ambas subdivisiones, lo cual se detalla ampliamente en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Diferencias entre los subórdenes Caelifera y Ensifera

Partes del cuerpo	Caelifera	Ensifera
Antenas	Cortas multisegmentadas	y Largas y finas, más largas que el cuerpo
Valvas genitales (hembra)	Robustas y cortas	Bien desarrolladas y en forma de sable
Tímpanos	Visibles sobre el costado del primer segmento abdominal	En la tibia de las patas anteriores
Órgano estridulatorio	En forma de cresta en el fémur posterior, la cual es frotada contra una nervadura en los élitros	Ocupa el campo dorsal de los élitros
Huevecillos	Generalmente depositados en masa o grupo dentro del suelo	Puestos aisladamente dentro de los tallos de plantas, o en la superficie de plantas, ocasionalmente oviponen en el suelo.

1.1.3 Estructura anatómica del grillo doméstico (*Acheta domestica*)

Los hallazgos previos de Igual, García-Segovia y Martínez-Monzó, (2020), han corroborado que el grillo doméstico (*Acheta domestica*) se destaca por ser un insecto de crianza sumamente prometedor, gracias a su perfil nutricional altamente atractivo y su índice de conversión alimentaria notablemente inferior al de otros animales. Como resultado, exhibe un potencial significativo para potenciar el valor nutricional de los productos alimentarios.

Walker (2020), se dedicó a investigar la procedencia del grillo doméstico (*Acheta domesticus*), identificándola como oriunda del suroeste de Asia, no obstante, en la actualidad, su presencia abarca una extensa diversidad de países y continentes que engloban Europa, el norte de África, el oeste de Asia, India, Canadá, Estados Unidos, México y Australia. Su longitud corporal, excluyendo las antenas, oscila entre 35 y 30 mm. Las antenas, tienen la capacidad de alcanzar dimensiones equiparables al tamaño total del cuerpo. En cuanto a su apariencia, exhibe un matiz cromático pardo-amarillento con atributos más oscuros localizados en las regiones abdominales y cefálicas. Específicamente, las alas exhiben una proporción notablemente superior a la de su estructura corporal, envolviendo el abdomen y concluyendo en una bifurcación distal. En la Figura 1.2, se puede tener una apreciación visual de la morfología intestinal del grillo doméstico (*Acheta domesticus*).

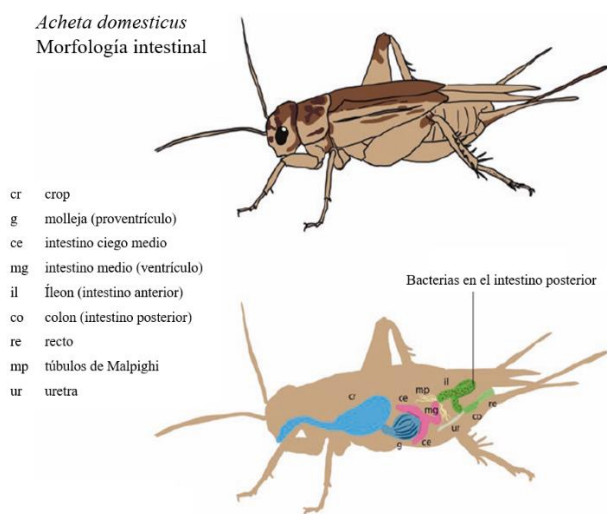


Figura 1.2 Morfología intestinal del grillo doméstico *Acheta domesticus* L (Dibujo de Stijn Schreven) Eilenberg y van Loon, 2018

1.1.4 Composición y valor nutritivo del grillo doméstico (*Acheta domesticus*)

De acuerdo con la investigación realizada por Huis *et al.*, (2013), indica que los perfiles nutricionales de los insectos comestibles exhiben una considerable variabilidad, directamente atribuible a la vastedad de especies. Incluso en una

misma categoría de especie, los valores nutricionales pueden diferir considerablemente en función de la fase metamórfica del artrópodo, así como de las características propias de su entorno y su régimen alimenticio.

Conforme al estudio realizado por Apolo-Arévalo e Iannacone (2015), establecen que las proteínas constituyen el componente más predominante en los insectos comestibles, en general, constituyen un papel fundamental en la estructura corporal de estos organismos. Se observa una presencia significativa de ácidos grasos, así como una riqueza de vitaminas pertenecientes al grupo B. Asimismo, se ha identificado la presencia de sales minerales dentro de sus propiedades, destacando su notable contenido de calcio y su función como fuente importante de magnesio.

Un estudio adicional, llevado a cabo por Kulma *et al.*, (2018), se enfoca en la evaluación del valor nutricional de los grillos doméstico (*Acheta domesticus*), determinando que no existe una influencia discernible de su dimorfismo sexual. En otras palabras, tanto los machos como las hembras representan una fuente potencialmente sobresaliente de proteínas y lípidos. Se ha constatado que sus contenidos de proteínas y lípidos (20-25 g/100 g y 4-7 g/100 g de peso fresco, respectivamente) son equiparables a los observados en fuentes cárnicas de animales convencionales, como la vaca o el pollo. En relación a su perfil lipídico, el grillo doméstico ostenta un contenido del 29-31 % de ácidos grasos poliinsaturados. Además, a causa de su constitución nutricional, se consideran como un alimento rico en vitaminas. En términos de productividad, se ha determinado que presentan un índice de conversión alimenticia de 2.1, lo que implica que se requieren 2.1 kg de alimento seco para generar 1 kg de producto comestible. En relación con otras fuentes de alimento se necesitan 4.5, 9.1 y 25 kg de alimento para producir 1 kg de producto comestible de aves de corral, ganado porcino y bovino, respectivamente. Por consiguiente, el consumo de este insecto se considera como una alternativa prometedora a las fuentes convencionales de proteínas animales.

1.1.5 Ciclo de vida del grillo doméstico (*Acheta domesticus*)

El análisis realizado por Fernández-Cassi *et al.*, (2019), proporciona evidencia empírica del ciclo vital de los grillos domésticos (*Acheta domesticus*). Los datos obtenidos demuestran que este ciclo presenta una variabilidad temporal que oscila entre 30 y 50 días, siendo usualmente consumidos en la etapa adulta, la cual alcanza en torno al día 40. Las conclusiones de este estudio son respaldadas por Walker (2020), quien confirma que las fases de su ciclo de vida tienen una duración promedio de dos a tres meses. A través de la Figura 1.3, se presenta de manera gráfica el desarrollo secuencial del ciclo de vida del grillo doméstico (*Acheta domesticus*).

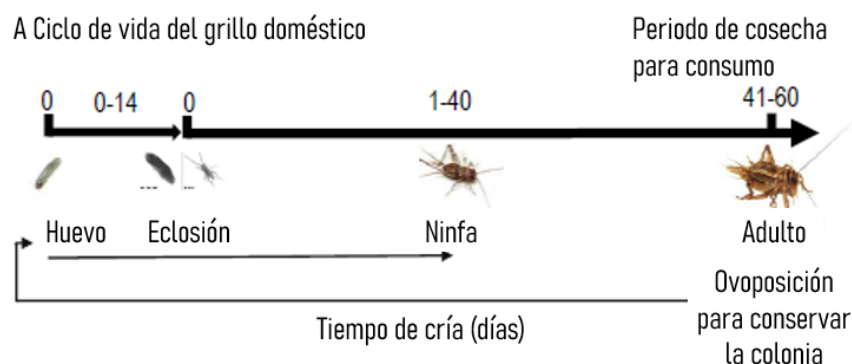


Figura 1.3 Representación esquemática del ciclo vital del grillo doméstico (*Acheta domesticus*)

1.1.6 Cría y reproducción del grillo doméstico (*Acheta domesticus*)

Apolo-Arévalo y Llannacone, (2015), presentan un estudio donde revelan el potencial que ofrece la cría de insectos como una forma de microganadería, en aras de incrementar la disponibilidad de recursos sin amenazar las poblaciones de insectos silvestres. Algunos individuos consideran que los insectos deben ser consumidos únicamente en épocas de escasez alimentaria. Sin embargo, en la mayoría de los casos en los cuales los insectos forman parte de la dieta local básica, los insectos se consumen debido a su exquisito sabor y no por la ausencia de otras

fuentes de alimento, lo cual les otorga un alto valor monetario y los cataloga como un deleite gastronómico singular y exótico.

Las instalaciones dedicadas a la cría de grillos presentan la capacidad de generar entre 8 y 10 ciclos reproductivos anuales. La selección de recursos empleados en el proceso de cría varía en función del tamaño de la granja y las necesidades de producción. Entre los materiales más frecuentemente utilizados se destacan los receptáculos de plástico, las cajas de madera y los recintos edificados con bloques de hormigón. De estos materiales, se ha determinado que el empleo de cajones de plástico ofrece un rendimiento óptimo, ya que permiten un apilamiento eficiente, reduciendo así el espacio utilizado. No obstante, se ha observado una mayor tasa de mortalidad en los niveles superiores de estas cajas debido a la mayor ventilación y las bajas temperaturas. El rango térmico adecuado para el hábitat de los grillos en estas jaulas se sitúa entre los 20 °C como temperatura mínima y los 35 °C como temperatura máxima. Para una granja de tamaño medio, se estima una densidad aproximada de 6,000 a 12,000 grillos por metro cuadrado.

Fernández-Cassi *et al.*, (2019), enfatizan la importancia de la alimentación de los grillos, dado que una dieta nutricionalmente desequilibrada puede desencadenar conductas caníbales en estos insectos. Por lo tanto, es de crucial relevancia suministrar regularmente una dieta compuesta principalmente por alimento comercial diseñado para aves de corral, complementada con la incorporación de frutas y verduras frescas.

1.1.7 Perfil de riesgo

Un estudio científico realizado por Fernandez-Cassi *et al.* (2019), ha aportado importantes hallazgos con relación al consumo humano del grillo doméstico (*Acheta domesticus*). Según los resultados obtenidos, ha concluido que no se ha documentado casos de transmisión de enfermedades, parásitos o alergias de importancia clínica en humanos derivados a la ingesta de dicho insecto. No obstante, se ha observado la posibilidad de desencadenar reacciones alérgicas en

individuos previamente sensibilizados a los alérgenos de los insectos o a un alérgeno diferente para que exista una reactividad cruzada, así como en individuos recién sensibilizados. Cabe destacar que conforme los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud y la Unión Internacional de Sociedades de Inmunología, se han identificado hasta la fecha un total de 274 alérgenos relacionados con la categoría Artrópoda. Sin embargo, ninguno de estos alérgenos ha sido identificado dentro de la orden Ortóptera, al cual pertenecen los grillos en estudio.

En Europa, no se ha identificado la existencia de alergias alimentarias específicas relacionadas con el consumo de grillos domésticos (*Acheta domesticus*), lo cual podría atribuirse a la baja prevalencia histórica de su consumo en esta región. Además, es importante destacar que las áreas geográficas donde el consumo de grillos es más prominente, no parecen presentar un aumento significativo en la incidencia de reacciones alérgicas. En un contexto diferente, se han documentado casos de anafilaxia relacionados con el consumo de grillos y saltamos en Bangkok, Tailandia; sin embargo, no se pudo determinar con precisión la especie responsable de la reacción alérgica en cuestión. Asimismo, se ha observado que las reacciones alérgicas inducidas por saltamontes son más frecuentes y poseen mayor gravedad en comparación con las desencadenadas por los grillos.

Se detectan múltiples riesgos de naturaleza química y microbiológica de notable relevancia en relación con los grillos criados dentro del marco del sistema alimentario previsto. Entre los riesgos biológicos, se destacan la presencia de virus, priones y parásitos, los cuales deben ser considerados como de bajo a moderado riesgo. Para contrarrestar estos riesgos, es posible recurrir a la aplicación de tratamientos térmicos, como el escaldado, hervido, pasteurizado o cocción, con el fin de reducir o modificar la carga y composición microbianas inherente a los insectos comestibles en cuestión. Los investigadores del estudio mencionado anteriormente, enfatizan la imperante necesidad de aplicar este tipo de tratamiento tanto en los grillos en sí como para los productos derivados de los mismos, como medida primordial antes de su ingreso al mercado. Además, se aconseja

enfáticamente la aplicación de tratamiento térmico antes del consumo con el propósito de salvaguardar la integridad y seguridad alimentaria. Para controlar eficazmente la carga microbiana inherente a los insectos comestibles y garantizar una mayor vida útil de anaquel, sugieren considerar la exploración de nuevas vías tecnológicas, tales como el procesamiento a alta presión, y a considerar otros procesos de conservación, incluyendo la adición de sales nitrificantes, el secado y la acidificación. Estas estrategias prometedoras permitirán alcanzar los objetivos deseados en cuanto calidad y durabilidad de los productos derivados de los grillos, consolidando así su valor nutricional.

1.2 Proceso de secado

El proceso de desecación o deshidratación según Geankoplis (2019), es una estrategia de conservación que persigue primordialmente la minimización de la actividad de agua, con el propósito de prolongar su vida útil. La evidencia científica apunta que los comestibles con alto contenido de humedad son propensos a deteriorarse rápidamente, razón por la cual el control del contenido de agua es una herramienta crucial para su preservación. Además, se ha notado que la estabilidad de alimentos con el mismo nivel de humedad puede variar considerablemente, debido a que se deben de considerar las interacciones complejas entre el agua y otros componentes constituyentes.

Según la investigación de Conteras Monzón (2006), la operación de deshidratación exhibe una notable capacidad de optimizar la eficiencia económica en términos de transporte y almacenamiento, gracias a la notable reducción del contenido y volumen de los productos resultantes. Además, esta técnica se presenta como una valiosa herramienta para impulsar la mejora y la creación de productos novedosos en la industria alimentaria. Como ya se mencionó, el objetivo principal del método de deshidratación es mejorar la estabilidad de los alimentos; sin embargo, es importante tener en cuenta que este procedimiento conlleva cambios complejos en las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos, tales como alteraciones en el color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de constitución, valor

nutricional y estabilidad durante el almacenamiento. La magnitud de estas modificaciones está condicionada por la composición específica del alimento en cuestión y la rigurosidad del método de desecado aplicado. Además, es importante destacar que el proceso de secado no se limita exclusivamente a la extracción de contenido líquido de los materiales de proceso y otras sustancias., también se utiliza como referencia a la reducción de otros líquidos orgánicos, como el benceno o solventes orgánicos, de materiales sólidos.

Una de las ventajas que conlleva el proceso de secado o deshidratación de materiales biológicos, especialmente en el ámbito de los alimentos, como se expone en el análisis de Geankoplis (2019), radica en su empleo como método de conservación. El crecimiento microbiano responsables de la descomposición de los alimentos encuentran un ambiente inhóspito para su crecimiento y proliferación en ausencia de humedad. Además, muchas de las enzimas que catalizan las reacciones químicas en los alimentos y otras sustancias biológicos son incapaces de desempeñar su función sin la presencia de agua. La actividad microbiana se ve drásticamente inhibida cuando el contenido de agua desciende hasta un 10 % en peso. Sin embargo, para conservar tanto el sabor como el valor nutricional de los alimentos, se requiere reducir dicho contenido de humedad por debajo del umbral del 5 % en peso.

1.2.1 Procesamiento térmico de materiales biológicos

En términos generales, los materiales de naturaleza biológica, presentan una menor estabilidad en comparación con la mayoría de los materiales inorgánicos y algunos de origen orgánico. Consecuentemente, Geankoplis (1998), sostiene que resulta imperativo emplear métodos de desecación como medida para preservar adecuadamente los materiales biológicos, especialmente en el caso de los alimentos. Una metodología de suma importancia es el procesamiento térmico o tratamiento por calor, reconocido por su capacidad de inactivar los microorganismos contaminantes que inicialmente se concentran en la capa exterior de los alimentos, ocasionando su deterioro y potenciales riesgos para la salud. Este enfoque permite

prolongar significativamente el tiempo de almacenamiento de alimentos y otras sustancias biológicas.

1.2.2 Métodos generales del secado

Geankopolis (1998), categorizó los métodos y procedimiento de secado de manera meticulosa. Estos se dividen en dos modalidades fundamentales: los procesos en lotes, en los cuales el sustrato es introducido en el equipo de secado y el procedimiento es llevado a cabo durante un lapso específico; y los procesos continuos, en los que el material es incorporado de manera ininterrumpida al equipo de secado, resultando un producto final deshidratado.

Asimismo, los procesos de secado son clasificados según las condiciones que sean empleadas para la suministración de calor y la extracción de vapor de agua. En los procesos de secado con calentamiento conectivo, se aplica calor mediante el contacto directo de un corriente de aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua generado es eliminado mediante el mismo flujo de aire. En los procesos de secado al vacío, la evaporización del agua ocurre mediante presiones bajas, y el calor es proporcionado de manera indirecta, ya sea mediante el contacto con una superficie metálica o a través del mismo flujo de aire. En el caso específico de la liofilización, el agua experimenta una transición directamente del estado sólido al gaseoso, sublimándose desde el material previamente congelado, sin pasar por la fase líquido-intermedia.

1.2.3 Liofilización

Orrego (2008), explica que ciertos productos alimentarios, farmacéuticos y biológicos, cuya naturaleza requiere evitar su exposición a temperaturas moderadas durante un proceso convencional de secado, encuentran su solución mediante el proceso de liofilización. En términos generales, la materia que se somete a este procedimiento es previamente congelada mediante la exposición a un ambiente extremadamente frío. La liofilización por congelación implica la eliminación del agua

en forma de vapor por sublimación del material previamente congelado dentro de una cámara sometida a vacío. Una vez que la humedad sublima y se convierte en vapor, se extrae mediante la utilización bombas de vacío mecánicas o eyectores de chorro de vapor.

Es pertinente destacar que el proceso de secado por congelación, si bien es altamente eficaz, se caracteriza por ser una metodología bastante costosa, esto debido a que la velocidad del secado es lenta, además de emplear condiciones de vacío. También menciona que, la liofilización es un método de deshidratación basado en el fenómeno de sublimación y que esta tecnología se desarrolló con el fin de minimizar pérdidas de las propiedades responsables del sabor y el aroma de los alimentos, los cuales se degradan considerablemente durante los procesos convencionales de secado.

1.2.3.1 Congelación

Orrego (2008) expone que la congelación constituye un proceso de conservación que se origina a partir de la reducción de la temperatura por debajo del umbral en el cual se inicia la formación de estructuras cristalinas en un sustrato alimenticio. Como fase previa a la liofilización, ejerce una influencia determinante en la cromatografía y la densidad del producto final, así como en la velocidad de sublimación.

En el caso de los alimentos frescos se debe eliminar el calor generado por la respiración metabólica seguido del calor latente durante la congelación, fenómeno que induce la cristalización del agua en forma de hielo; además, se extrae el calor latente de otros componentes del alimento, incluyendo los lípidos.

El proceso de congelación se puede resumir en tres etapas:

1. La precongelación abarca el lapso desde el inicio del proceso de enfriamiento hasta el punto en el que agua comienza a cristalizar.

2. La congelación representa el periodo durante el cual la temperatura del material se mantiene relativamente constante, siempre y cuando la sustancia en consideración sea de naturaleza pura.
3. Una vez que los materiales se congelan, se procede a una disminución de la temperatura de manera aproximadamente lineal, provocado por la extracción de calor sensible del producto sólido. Esta fase termina al alcanzar el material la temperatura del medio refrigerante o congelador empleado en el proceso.

1.2.3.2 Secado por sublimación

Orrego (2008), argumenta que cuando el proceso de liofilización inicia surge un frente de sublimación o interfaz entre la fase deshidratada y la fase congelada de la muestra, el cual progresa de manera gradual. La transferencia de masa se presenta mediante la migración de vapores a través de la fase deshidratada de la muestra, bajo la acción de una diferencia de presión.

Cuando se realiza el secado mediante la liofilización se distinguen tres fases o etapas:

La primera fase, denominada etapa conductiva, se inicia con el calentamiento de la muestra, lo cual induce un rápido incremento en la tasa de sublimación hasta alcanzar un pico máximo. El intervalo temporal requerido para completar esta fase es relativamente breve, constituye entre un 10 y 15 % del tiempo total del proceso.

La segunda fase, conocida como la primera etapa difusiva, exhibe una marcada disminución en la tasa de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material deshidratado, la cual opone una resistencia creciente al flujo de calor y vapores a medida que avanza el proceso de secado.

La tercera fase, correspondiente a la segunda etapa difusiva o secado secundario, revela una disminución continua en la velocidad de sublimación, aproximándose a cero, esto se debe a que el calor necesario para extraer el agua ligada supera al requerido para la sublimación.

Debido a que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es baja, surge la oportunidad, de elevar tanto la temperatura del sistema de calentamiento como la del producto, hasta alcanzar niveles cercanos a los 50° C, según las características del material en consideración.

En el proceso de transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas propulsoras, las cuales deben vencer las resistencias impuestas por el espesor y las propiedades físicas de la muestra. El espesor, en este contexto, desempeña un papel crucial; a medida que disminuye; se reduce la resistencia al flujo de calor y masa a través de la muestra.

Acosta (2009), ratifica que los productos sometidos a la liofilización suelen exhibir un contenido de humedad reducido, aproximadamente alrededor del 5 %. A pesar de que estas metodologías son costosas, la rehidratación de los productos liofilizados conduce a la obtención de productos que exhiben semejanzas notables con los originales, incluso manifestando un incremento en su valor nutritivo y presentando propiedades sensoriales que se asemejan a las del alimentos fresco, cuando se comparan con otras técnicas de secado.

1.2.4 Aplicaciones de la liofilización

Acosta (2009), menciona qué por regla general, se puede afirmar que la liofilización, conduce a la obtención de productos alimenticios de una excelencia superior en contraste con otros métodos de secado. Este resultado se atribuye primordialmente a la conservación de la rigidez estructural del material congelado durante el proceso de sublimación, lo cual previene el colapso de la estructura porosa tras el procedimiento de secado. Al agregar agua posteriormente, el producto rehidratado vuelve a tener gran parte de su estructura original.

Es importante resaltar que la liofilización de materiales biológicos y alimenticios ofrece el beneficio adicional de preservar su sabor y aroma. Gracias a las bajas temperaturas empleadas en este proceso, se logra minimizar las reacciones de degradación que son comunes en los métodos convencionales de secado.

1.3 Aditivos alimentarios

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define aditivos alimentarios como compuestos que se incorporan a los productos comestibles como el propósito de preservar o elevar su seguridad sanitaria, prolongar su estado de frescura y potenciar su perfil sensorial en términos de sabor, textura y apariencia. Históricamente, ciertos aditivos han sido utilizados durante siglos con el fin de prolongar la conservación de alimentos.

En el transcurso del tiempo, se han desarrollado una gran variedad de innovadores aditivos con la finalidad de cubrir las exigencias de la industria alimentaria. Estos compuestos son esenciales para salvaguardar la integridad sanitaria de los productos elaborados y para asegurar su óptimo estado durante el trayecto desde las instalaciones de producción o cocinas industriales hasta los consumidores, transitando a través de almacenes y establecimientos comerciales intermedios.

La utilización de los aditivos alimentarios está justificada si responde a una necesidad tecnológica. Su aplicación debe excluir cualquier posibilidad de confusión al consumidor y requiere con una finalidad tecnológica claramente definida, como preservar la integridad nutricional de los alimentos o perfeccionar su estabilidad. Estos compuestos pueden ser extraídos de fuentes vegetales, animales o minerales, o bien, producidos de manera sintética.

1.3.1 Los aditivos en la liofilización

El estudio expuesto por Moreira *et al.*, (1993), establece que la forma deshidratada constituye la vía más apropiada para preservar productos de naturaleza perecedera, tales como alimentos, compuestos biológicos o farmacéuticos, debido a que la baja actividad de agua presente en estos minimiza cualquier proceso de deterioro. Un método particularmente destacado en este ámbito es la liofilización, pues permite deshidratar productos que son sensibles al calor, gracias a que se lleva a cabo a temperaturas bajas.

Es importante tener presente que la primera fase en el proceso de liofilización es la etapa de congelación: al reducir la temperatura del sistema, el agua se cristaliza y los componentes se concentran en los intersticios que surgen entre ellos. Algunos componentes, al concentrarse durante esta fase, pueden cristalizar en forma de eutécticos o mantenerse en estado líquido, llegando a solidificarse en un estado amorfo. Este fenómeno puede resultar en una modificación de las propiedades biológicas, farmacéuticas o nutricionales de las propiedades químicas presentes. En consecuencia, un producto liofilizado debe preservar esencialmente sus atributos fundamentales, mantener una presentación atractiva, poseer un contenido de humedad limitado y exhibir una facilidad de rehidratación y estabilidad durante períodos prolongados de almacenamiento. Por tal motivo, se recurre a la introducción de aditivos o agentes lioprotectores.

Los aditivos desempeñan una función crítica al garantizar la estabilidad química, bioquímica y biológica del material, lo que requiere la utilización de combinaciones cuyos efectos se complementen. Gran parte de las sustancias activas que se someten a liofilización en la actualidad son proteínas, las cuales requieren conservar su estructura conformacional. Es bien conocido que ciertos compuestos desempeñan un efecto protector sobre las proteínas tanto en estado solución como en estado liofilizado. El propósito de los aditivos alimentarios es permitir que la proteína se mantenga hidratada mientras que estos la rodean sin interactuar directamente.

Una variedad de compuestos como azúcares y ciertos aminoácidos han sido reportados como buenos estabilizadores de proteínas en solución. No obstante, algunas enzimas sólo han logrado ser estabilizadas en forma liofilizada mediante la adición de carbohidratos. La conservación de sistemas celulares ha hallado en los carbohidratos una herramienta para sostener la estabilidad posterior a la liofilización. Los carbohidratos y sus derivados constituyen la categoría de compuestos cuyo efecto como aditivos se ha evidenciado de manera más marcada, tanto en el ámbito estructural como por la protección que han brindado a biomoléculas y sistemas celulares liofilizados.

1.3.2 Maltodextrina

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) categoriza a las maltodextrinas como productos resultantes de la hidrólisis de almidón, compuestos por polisacáridos nutritivos, carentes de sabor dulce, las cuales están constituidas por una combinación de carbohidratos con diferente grado de polimerización. Se encuentra en presentaciones de polvo color blanco o soluciones líquidas concentradas, y están catalogadas como ingredientes GRAS (Generally Recognized As Safe) por su reconocida seguridad en el ámbito alimentario.

Las maltodextrinas, por su variada gama de propiedades fisicoquímicas y funcionales, ofrecen notables beneficios en las industrias alimentarias y farmacéuticas. Su aplicación incluye funciones como agentes estabilizantes, espesantes, extensores y sustitutos de grasas y aceites en productos que van desde aderezos para ensaladas hasta margarinas y postes congelados. Además, desempeñan un papel crucial como agentes encapsulantes en el proceso de secado por aspersión de pigmentos naturales, aceites esenciales y sabores. Asimismo, contribuyen al control de la textura, la higroscopicidad y la densidad en determinados productos alimentarios.

1.4 Composición proximal en alimentos

En el ámbito industrial, es importante conocer los porcentajes que conforman los componentes principales de un producto alimenticio, lo cual se denomina análisis proximal. Estos elementos engloban parámetros como la actividad de agua, contenido de humedad, cenizas, lípidos, entre otros.

1.4.1 Actividad de agua

El concepto de actividad de agua (a_w), cuenta con una trayectoria de más de cinco décadas. Es uno de los parámetros de mayor relevancia en la conservación y procesamiento de alimentos. En 1953, William James Scott estableció que los microorganismos exhiben un nivel de actividad de agua (a_w) que limita su capacidad de proliferación. Este indicador oscila entre 0 y 1, y a medida que se

distancia de 1 (el valor correspondiente al agua pura), la actividad biológica se ve notoriamente reducida, lo que facilita el proceso de conservación y prolonga el almacenamiento del producto alimenticio. En la Tabla 1.3 se muestra la correlación entre la actividad de agua y el desarrollo de microorganismos, incluyendo ejemplos de comestibles que se categorizan en distintos rangos.

Tabla 1.3 Actividad de agua y crecimiento de microorganismos en los alimentos (Barbosa-Cánovas, Fontana Jr, Schmidt, y Labuza, 2020)

Intervalo de a_w	Microorganismos	Alimentos dentro de este rango
0.95 – 1.00	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.	Alimentos frescos, fruta enlatada, vegetales, carne, pescado, leche.
0.91 – 0.95	<i>Salmonella</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Vibrio Parahemolyticus</i> , <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , algunos hongos y levaduras (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>).	Quesos frescos, carnes curadas.
0.87 – 0.91	Mayoría de levaduras: <i>Torulopsis</i> , <i>Candida</i> , <i>Hansenula</i> . <i>Micrococcus</i> .	Fiambres, bizcochos, quesos curados, margarinas.
0.80 – 0.91	Mayoría de los hongos <i>Penicillium</i> . <i>Staphylococcus aureus</i> . Levaduras: <i>Saccharomyces</i> , <i>Debaryomices</i> .	Zumos de frutas concentradas, leche condensada, siropes.
0.75 – 0.80	Bacterias halófilas. Mayoría de los hongos <i>Aspergillus</i> .	Confituras y mermeladas.
0.75 – 0.55	Hongos xerófilos. <i>Saccharomyces bisporus</i> .	Gelatinas, melazas, azúcar de caña no procesado, algunas frutas desecadas, nueces.
0.65 – 0.60	Levaduras osmófilas: <i>Saccharomyces rouxii</i> . Algunos hongos: <i>Aspergillus echiulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i> .	Frutas desecadas (15- 20% de humedad), caramelos, miel.
0.60 – 0.50	No hay proliferación microbiana	Pasa seca, especies, arroz, repostería, trigo
0.50 – 0.40	No hay proliferación microbiana	Huevo entero en polvo, harina, legumbres
0.40 – 0.30	No hay proliferación microbiana	Galletas, galletas saladas, cortezas de pan, cereales, comida seca para mascotas, mantequilla de cacahuete
0.30 – 0.20	No hay proliferación microbiana	Leche entera en polvo, vegetales secos, liofilizados, almidón de maíz, papas fritas, chips de maíz

También, los cambios específicos en el matiz cromático, el perfil aromático, el sabor, la textura, la estabilidad y la aceptabilidad de los productos alimenticios, tanto en su estado crudo como procesados, muestran una correlación en los rangos de actividad de agua (a_w) relativamente estrechos.

Sahim y Gülüm Sumnu (2006), conceptualizan la actividad de agua (a_w) como la relación entre la presión de vapor del agua en el sistema y la presión de vapor del agua pura a una temperatura equivalente. Dado que la mayoría de las interacciones bioquímicas y microbiológicas están intrínsecamente ligadas al contenido de agua del sistema, este se convierte en un parámetro esencial para prever la estabilidad y durabilidad de los alimentos.

1.4.2 Humedad

Hart (1991), caracteriza la humedad como el total de agua presente en una muestra. Los niveles de contenido de actividad de agua oscilan entre el 60 y 95 % en productos alimentarios naturales. En los tejidos de origen vegetal y animal, la humedad se puede categorizar en dos estructuras principales: “agua libre” y “agua ligada”. El agua libre o absorbida, predomina en abundancia y se libera con relativa facilidad. Por otro lado, el agua ligada se encuentra enlazada o incorporada en los alimentos, ya sea en forma de agua de cristalización, en el caso de los hidratos, o unida a las proteínas y moléculas de sacáridos, la cual es absorbida en la superficie de las partículas coloidales.

Se puede cuantificar tanto en base húmeda como en base seca. En la base húmeda, se evalúa la cantidad de agua con respecto a la masa total de la muestra en su estado original, mientras que la base seca, se considera la cantidad de agua con respecto a la masa sólida de la muestra.

1.4.3 Color

El color se define como un fenómeno perceptivo, cuya apreciación está sujeta a la interpretación del observador y a las condiciones ambientales en las que se realiza la observación. Sahim y Gülüm Sumnu (2006), lo definen como una propiedad de la luz, la cual puede ser cuantificada en función de su intensidad y longitud de onda. El color surge en un material cuando es iluminado o impactado por la luz proveniente de una fuente, y puede ser evaluado mediante curvas espectrofotométricas que abarcan la totalidad del espectro visible.

El color, siendo uno de los atributos más significativos en la determinación de los estándares de calidad de los alimentos, constituye como base para categorizar productos, evaluar las materias primas y realizar control de procesos. Además, permite la medición indirecta para otros parámetros en el análisis de alimentos.

1.4.3.1 Hunter Lab Color Space

El sistema HunterLab (2012), se fundamenta en las mediciones L^* , a^* y b^* . El parámetro L , denota la luminosidad y oscila entre 0 (indicativo de negro) hasta 100 (indicativo de blanco). Por su parte, el valor a varía desde $-a$ (indicando tonalidades verdosas) hasta $+a$ (indicando tonalidades rojizas), mientras que el valor de b varía desde $-b$ (indicando tonalidades azuladas) hasta $+b$ (indicando tonalidades amarillas). Es importante destacar que la escala Hunter, deriva de los valores X , Y , Z . En la Figura 1.4, se ilustra la categorización de los parámetros de color.

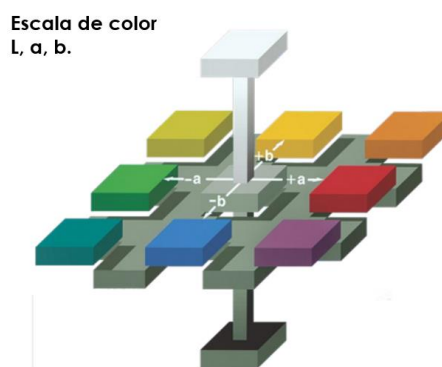


Figura 1.4 Escala de color L, a, b. (HunterLab, 2012)

En el ojo humano, existe una etapa intermedia de cambio de señales entre los receptores de luz en la retina y el nervio óptico, en que se lleva a cabo las señales de tonalidad al cerebro. En esta etapa de conmutación, las respuestas rojas se comparan con el verde para generar una dimensión de color rojo-verde. De manera similar pasa con el azul y el amarillo, juntos forman la dimensión de azul-amarillo. Estas dos dimensiones se asocian a los símbolos a y b , respectivamente. El valor a esta en función de X , Y y el valor b está en función de Z, Y . La tercera dimensión necesaria, L para la luminosidad, es una función no lineal, que es el porcentaje de reflectancia (o transmitancia).

1.4.4 Carbohidratos

Ferrier (2014), sostiene que los carbohidratos además de representar un suministro de energía de rápida disponibilidad en el interior celular constituyen las bases estructurales esenciales de las células y componentes vitales de diversas vías metabólicas. Los carbohidratos o también conocidos como hidratos de carbono, glúcidos o azúcares, son las moléculas orgánicas más prevalentes en la naturaleza. Su funcionalidad es diversa e incluye la aportación sustancial de las calorías en la dieta de una amplia variedad de organismos, hasta desempeñar un papel fundamental en el almacenamiento energético interno y actuar como componentes membranas celulares que facilitan determinados tipos de comunicación intracelular. Además, los carbohidratos ejercen una actividad crucial en la estructura de diversos organismos, tales como en las paredes celulares de bacterias, en el exoesqueleto de muchos insectos y en la celulosa fibrosa que caracteriza a las plantas.

Murray *et al.*, (2012), clasifican a los carbohidratos de la siguiente manera:

1. Monosacáridos: son los azúcares que no se pueden someter a hidrólisis para obtener carbohidratos más simples. Pueden ser categorizados como triosas, tetrasas, pentosas, hexosas o heptosas, dependiendo del número de átomos de carbono. También se distinguen como aldosas o cetosas, según posean un grupo aldehído o cetona.

2. Disacáridos: Resultan de la condensación de dos unidades de monosacáridos; ejemplos son lactosa, maltosa, sacarosa y trehalosa.
3. Oligosacáridos: Se forman por la condensación de 3 a 10 monosacáridos. Es relevante destacar que gran parte de los oligosacáridos no son digeridos por las enzimas presentes en el organismo humano.
4. Polisacáridos: se generan a partir de la condensación de más de 10 unidades de monosacáridos; ejemplos representativos son el almidón y las dextrinas, que pueden ser polímeros lineales o ramificados.

1.4.5 Proteínas

Ferrier (2014), postula que las proteínas son las biomoléculas más predominantes y diversamente funcionales en los sistemas biológicos. Ejercen una influencia vital en el funcionamiento biológico de los seres vivos. Por ejemplo, las enzimas y las hormonas polipéptidas dirigen y regulan el metabolismo en el organismo, mientras que las proteínas contráctiles del tejido muscular permiten el movimiento corporal. En el sistema óseo, proteínas tales como la hemoglobina y la albumina plástica, cumplen con un labor crucial en el desplazamiento de moléculas fundamentales para la subsistencia, mientras que las inmunoglobulinas, combaten constantemente contra microorganismos patógenos bacterianos y virales, salvaguardando así la integridad del organismo.

La investigación de Damodaran (2000), confirma la relevancia fundamental de las proteínas en los sistemas biológicos. Estas macromoléculas, conformadas por una matriz polimérica de hasta 20 aminoácidos distintos, derivan su denominación del término griego *proteois*, que denota de *primera clase*, ya que pretende poner de manifiesto su enorme importancia biológica. Los cambios físicos u funcionales que experimentan las proteínas reflejan el ciclo de vida de los organismos en los cuales residen. Una proteína inicia su existencia en el momento de la traducción, experimenta una madurez a través de procesos de post-traducción, oscila entre estados de actividad y reposo bajo la influencia de factores regulatorios, envejece

mediante procesos como la oxidación, desamidación, etc., y culmina su ciclo al degradarse en los aminoácidos constituyentes. En la Figura 1.5 se ilustra un esquema del ciclo de vida de una proteína.

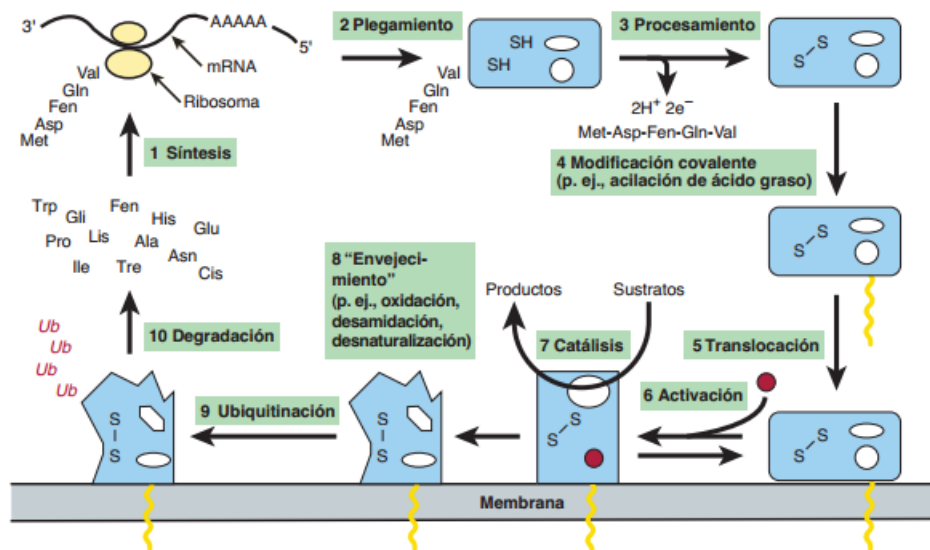


Figura 1.5 Diagrama del ciclo de vida de una proteína hipotética (Murray *et al.* 2012)

1.4.5.1 Estructura de las proteínas

En su estudio, Damodaran (2000), expone qué a nivel elemental, las proteínas albergan un contenido aproximado de 50-55 % de carbono, 6-7 % de hidrógeno, 20-23 % de oxígeno, 12-19 % de nitrógeno y 0.2-0.3 % de azufre. Estas macromoléculas pueden ser categorizadas según su organización estructural, distinguiéndose entre proteínas globulares y proteínas fibrosas. Las primeras adoptan morfologías esféricas o elipsoidales resultantes del plegamiento de las cadenas polipeptídicas sobre sí mismas. En contraste, las segundas se caracterizan por su geometría alargada y variada, compuestas por cadenas polipeptídicas lineales enrolladas.

Las diversas actividades biológicas de las proteínas permiten categorizarlas en catalizadores enzimáticos, proteínas estructurales, componentes contráctiles, hormonas, moléculas transportadoras, inmunoglobulinas, reservar nutricionales y agentes protectores. Aunque todas comparten una base común de aminoácidos

primarios, algunas podrían presentar ausencias de uno o más de constituyentes fundamentales. Las variaciones en la estructura y función de las innumerables proteínas surgen a partir de la secuencia específica de unión de los aminoácidos, mediada por enlaces amida.

Damodaran (2000), expone que las proteínas se componen de cuatro niveles estructurales. La estructura primaria se refiere a la secuencia lineal en la que los aminoácidos se enlazan de manera covalente a través de enlaces amida, también conocidos como enlaces peptídicos. La estructura secundaria abarca la disposición espacial de los residuos de aminoácidos en segmentos específicos de la cadena polipeptídica. La estructura terciaria engloba la disposición tridimensional alcanzada cuando una cadena polipeptídica lineal, con segmentos que presentan diversas estructuras secundarias, se pliega sobre sí misma para adquirir una forma compactada. Por último, la estructura cuaternaria hace referencia a la organización espacial adoptada por una proteína que incorpora más de una cadena polipeptídica. Numerosas proteínas de importancia biológica existen en forma de dímeros, trímeros, tetrámeros, entre otros. Cualquiera de estos complejos cuaternarios, también denominados oligómeros, puede estar formados por subunidad idénticas o distintas.

1.4.5.2 Termodinámica de la desnaturalización proteica

En el año 2000, Damodaran explica el complejo proceso de la desnaturalización, y la define como la transformación de una estructura plegada y claramente definida, generada en condiciones fisiológicas, hacia un estado desplegado en condiciones no fisiológicas. Debido a la complejidad de cuantificar la estructura como parámetro, no es viable medir directamente las fracciones nativa y desnaturalizada de una proteína en disolución. Sin embargo, los cambios conformacionales de las proteínas afectan invariablemente a varias de sus propiedades físicas y químicas.

La desnaturalización proteica es reversible. Si se retira el agente desnaturalizante de la disolución de proteína (o simplemente se enfría), la mayor parte de las

proteínas monoméricas recuperan su conformación nativa en condiciones de disolución apropiadas, es decir, a una concentración proteica, un pH, una fuerza iónica y un potencial de oxido-reducción apropiados. El agente más frecuentemente empleado para la conservación y procesamiento de alimentos es el calor y debido a este método, las proteínas sufren diversos grados de desnaturalización durante el procesamiento. Las propiedades funcionales de los alimentos pueden ser alterados debido a la desnaturalización.

1.4.6 Grasas

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), explica que la composición de las grasas, los aceites y los lípidos, engloban un gran número de compuestos orgánicos. Entre los que se encuentran los ácidos grasos (FA), monoacilgliceroles (MG), diacilgliceroles (DG), triacilgliceroles (TG), fosfolípidos (PL), eicosanoides, resolvinas, docosanoides, esteroides, ésteres de esteroides, carotenoides, vitaminas liposolubles, alcoholes grasos, hidrocarburos y ésteres de ceras. Los lípidos se caracterizan como moléculas de pequeño tamaño que exhiben propiedades hidrofílicas y anfipáticas, y pueden propiciarse parcial o completamente por medio de la condensación de tioésteres o unidades de isopreno.

Murray *et al.*, (2012), expone que los lípidos constituyen una clase de mezclas heterogéneas, que abarcan grasas, aceites, esteroides, ceras y compuestos relacionados, agrupados principalmente por sus propiedades físicas más que por sus características químicas. Poseen la propiedad fundamental de ser relativamente insolubles en agua y solubles en disolventes no polares, tales como éter y cloroformo. Estos desempeñan un papel vital como componentes dietéticos, debido a su alto aporte energético y también por la presencia de vitaminas liposolubles y ácidos grasos esenciales que se encuentran en los lípidos naturales de los comestibles.

Según la investigación de Murray *et al.* (2012), la reserva de grasas se localiza en el tejido adiposo, desempeñando un rol crucial como aislante térmico en los tejidos

subcutáneos y alrededor de órganos específicos. Los lípidos no polares desempeñan un papel como aislantes eléctricos, facilitando una difusión eficaz de las ondas de despolarización a lo largo de nervios mielinizados. Las combinaciones de lípidos y proteínas, conocidas como lipoproteínas, funcionan como medio principal para el transporte de lípidos en la corriente sanguínea. Los lípidos desempeñan actividades de vital importancia en la nutrición y el mantenimiento de la salud, y una comprensión detallada de la bioquímica lipídica es esencial para la comprensión de numerosas enfermedades biomédicas de relevancia, como la obesidad, la diabetes mellitus y la aterosclerosis.

Los lípidos se clasifican como simples o complejos:

1. Lípidos simples: ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes.
 - a. Grasas: ésteres de ácidos grasos con glicerol. Los aceites son grasas en el estado líquido.
 - b. Ceras: ésteres de ácidos grasos con alcoholes monohídricos de masa molecular relativa (peso molecular) más alta.
2. Lípidos complejos: éteres de ácidos grasos que contienen grupos además de un alcohol y un ácido graso.
 - a. Fosfolípidos: lípidos que contienen, además de ácidos grasos y un alcohol, un residuo ácido fosfórico. A menudo poseen bases que contienen nitrógeno y otros sustituyentes, por ejemplo, en los glicerofosfolípidos el alcohol es glicerol, y en los esfingofoslípidos el alcohol es la esfingosina.
 - b. Glucolípidos: lípidos que contienen un ácido graso, esfingosina y carbohidrato.
 - c. Otros lípidos complejos: lípidos como sulfolípidos y aminolípidos. Las lipoproteínas también pueden colocarse en esta categoría.

3. Lípidos precursores y derivados: comprenden ácidos grasos, glicerol, esteroides, otros alcoholes, aldehídos grasos, cuerpos cetónicos, hidrocarburos, vitaminas liposolubles y hormonas.

La localización predominante de los ácidos grasos en el organismo es en forma de ésteres dentro de grasas y aceites naturales, aunque también se presentan en su configuración no esterificada como ácidos grasos libres, actuando como agentes de transporte en el plasma, tal como señala Murray *et al.* (2012). Los ácidos grasos que se localizan en los lípidos naturales tienden a poseer un número par de átomos de carbono en su estructura. Es importante mencionar que la cadena puede presentar tanto saturación como insaturación en su conformación.

1.4.7 Cenizas totales

Las cenizas totales de un alimento son un concepto analítico que equivale al residuo inorgánico resultante de la calcinación de la materia orgánica. Es importante mencionar que las sustancias inorgánicas halladas en las cenizas no corresponden a las existentes en el alimento original, dadas las pérdidas por volatilización y las interacciones químicas entre los constituyentes, tal como lo definen Iturbe y Sandoval (2021). De manera general, estas cenizas reflejan la cantidad de los minerales del alimento, suponiendo una fracción menor del 5 % de la materia seca total del alimento. Cabe resaltar que únicamente los minerales y el agua se resisten a la oxidación para la generación de energía. En contraste, la materia orgánica abarca los nutrientes (proteína, carbohidratos y lípidos) que están sometidos a combustión (oxidación) en el organismo con el fin de obtener energía, y este valor se determina calculando la diferencia entre la cantidad de materia seca y la cantidad de ceniza.

Conforme la investigación se Siguan (2014), en el ámbito del análisis mineras, es común la determinación de macroelementos como calcio, fósforo y magnesio en los alimentos. La evaluación de los minerales se realiza mayormente mediante técnicas de espectrofotometría de absorción atómica o colorimetría. Por otro lado, el análisis

de oligoelementos, por su parte, suele ser costoso y laborioso, lo que limita su aplicación frecuente. Para minimizar estas deficiencias, se recurre a la suplementación de las raciones con una cantidad substancial de un corrector vitamínico-mineral.

1.5 Propiedades térmicas en alimentos

Dado que múltiples etapas del proceso y preservación de los alimentos involucran transferencia de calor, Sahin y Summu (2006), resaltan la relevancia de comprender las propiedades térmicas de los alimentos. Estas son necesarias para llevar a cabo diversos cálculos relativos a la transferencia de calor, que cumplen un papel fundamental en la creación de los equipos de almacenamiento y refrigeración de alimentos, así como la estimación de tiempos requeridos para los procesos de enfriamiento, congelación, calentamiento o deshidratación de los estos. Cabe resaltar que las propiedades térmicas están influenciadas por la composición química y la temperatura. Entre las propiedades termofísicas que suelen ser necesarias para los cálculos de transferencia de calor en los alimentos se incluyen la fracción de líquido, la capacidad calorífica específica y la conductividad térmica.

1.5.1 Conductividad térmica

Singh y Heldman (1998), postulan la conductividad térmica como la propiedad de un material para conducir calor, denotando la habilidad de un producto para facilitar el flujo de calor por medio de conducción térmica, desde una superficie de unidad de área perpendicular a un gradiente de temperatura a 1 K/m. Se expresa en unidades de $W/m \cdot K$ en el sistema internacional (SI). La conductividad térmica de los alimentos está sujeta a la influencia de la temperatura, la composición y la porosidad del material, así como por los factores que modulan las vías de flujo térmico mediante el material, como la fracción de vacíos, la morfología, la dimensión y disposición de los vacíos, el contenido de fluido en los poros y la homogeneidad de la estructura.

1.5.2 Calor específico

Singh y Heldman (1998), postulan el concepto de calor específico como el contenido de energía térmica indispensable para incrementar la temperatura de una unidad de masa de la sustancia por un solo grado. Se expresa en unidades de J/kg*K en el sistema internacional (SI). El calor específico se encuentra ligado a los procesos de aumento de calor, ya sea a presión constante o a volumen constante. En los alimentos, el calor específico se encuentra estrechamente correlacionado con su composición. La determinación del calor específico de cada componente en una mezcla proporciona, en la mayoría de los casos, una estimación precisa del calor específico de la mezcla total. En los alimentos no congelados, el calor específico es más o menos uniforme con respecto a la temperatura. No obstante, en el caso de alimentos congelados, se nota una reducción de la capacidad específica conforme desciende la temperatura.

1.6 Diseño de experimento

Gutierrez y Salazar (2008), conceptualizan el diseño factorial como un enfoque de estudio que analiza el efecto de múltiples factores sobre una o varias respuestas, manteniendo un interés equitativo en todos los factores implicados. Este enfoque busca determinar una configuración óptima de niveles para los factores, con el propósito de maximizar el desempeño del proceso en consideración. Dentro de este diseño, se ejecutan de manera aleatoria todas las posibles combinaciones que se pueden formar a partir de los niveles de los factores a investigar. De esta manera, la estructura de la matriz del diseño o arreglo factorial representa el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que surgen de la consideración de todas las combinaciones potenciales de niveles de los factores. En el caso del diseño factorial 2^3 , se investiga el efecto de dos factores, cada uno con dos niveles. Cada réplica de este diseño engloba un total de $2 \times 2 \times 2 = 8$ combinaciones o tratamientos que se pueden denotar de diferentes maneras.

1.7 Estudios previos

Tengweh *et al.*, (2017), determinaron el efecto que tenían los métodos de secado de liofilización y secado de horno en el saltamontes de cuerno largo *Ruspolia differens*. Los resultados indicaron que estos insectos tienen en lípidos del 36%, así como niveles de proteína significativos que oscilan entre el 33% y el 46% de materia seca. El ácido oleico 44% y el ácido palmítico del 28% fueron los dos ácidos grasos más abundantes; mientras que la presencia de ácido araquidónico se demostró que estaba al 0.6% y el ácido docosahexaenoico es del 0.21%. Concluyeron que los métodos de secado proporcionaban la misma calidad nutricional.

Lucas-González *et al.*, (2019), determinaron las características físicoquímicas de la harina de grillo doméstico (*Acheta domesticus*), obtenidas de dos métodos diferentes de secado, los cuales fueron secado térmico (TDCF) y liofilización (LCF). Encontraron un alto contenido proteico (62.68 – 67.48%, respectivamente) y de grasas (24.91 – 19.32%, respectivamente). Ambas harinas mostraron rasgos tecno-funcionales (capacidad de retención de agua y aceite; capacidad de hinchamiento, capacidad de emulsión y espuma, y estabilidad). Concluyeron que el contenido de proteínas, grasas y sus buenas propiedades tecno-funcionales y antioxidantes, de las harinas a partir de grillo domestico pueden ser utilizadas como ingrediente alimentario en el desarrollo de nuevos alimentos.

Noh *et al.*, (2015), estudiaron la información toxicológica del polvo liofilizado de larvas de *Allomyrina dichotoma* como ingrediente alimentario. Concluyeron que no hubo ningún hallazgo de parámetro toxicológico de este insecto comestible.

Nidiritu *et al.*, (2017), examinaron el efecto de métodos de extracción de proteínas de grillos domésticos (*Acheta domesticus*). El proceso inicia con la liofilización de los grillos domésticos, para después triturarlos. Utilizaron dos métodos de extracción de proteínas, el hexano y extracción acuosa. Obtuvieron en la extracción acuosa valores de 19.42% de globulina, 6.26% de prolamina. No hubo diferencias

significativas en la capacidad de retención de agua y capacidad de adsorción de aceite. Sin embargo, registraron valores más altos para la capacidad de emulsión, estabilidad y formación de espuma. Concluyeron que los métodos de extracción si tienen un efecto sobre las cualidades fisicoquímicas y funcionales de las proteínas.

Mishyna *et al.*, (2020), valoraron el efecto de volatilidad y aroma de la liofilización, el secado al horno y el secado por microondas de la langosta y el gusano de seda. Concluyeron que el secado puede modificar el olor y las características sensoriales de las langostas y los gusanos de seda, y recomiendan tomar en cuenta esto durante el procesamiento de los insectos y la formulación de nuevos alimentos a base de insectos.

Han *et al.*, (2016), evaluaron la toxicidad subcrónica de las larvas liofilizadas de *Tenebrio molitor* en ratas, tomaron los signos clínicos, análisis de orina, la hematología y la química del suero. Concluyeron que no hubo una reacción adversa observada.

Lenaerts *et al.*, (2018), examinaron si era adecuado la sustitución de método de liofilización por el método de secado de microondas, para la extracción de harina del gusano *Tenebrio molitor*. Analizaron el contenido de B12, de ácidos grasos y el parámetro de color en la harina de gusanos. Detectaron que no se presentaba una diferencia sustancial entre los métodos con respecto a su composición proximal, sin embargo, con respecto al contenido de B12 solo se redujo en el secado por microondas. La fracción de grasa de la harina liofilizada mostro un mayor estado de oxidación. Concluyeron que el secado por microondas puede ser una alternativa adecuada a la liofilización.

Kröncke *et al.*, (2019), evaluaron la calidad nutricional de las larvas de gusanos de la harina procesadas mediante secado de horno, secado al vacío y liofilización. Compararon la composición proximal y el perfil de ácidos grasos, obtuvieron una variación poco notable entre los métodos de secado. En cambio, las impresiones de

color de las larvas y los perfiles de compuestos volátiles cambiaban respecto al procedimiento de secado.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología general

El desarrollo experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Bioprocesos en Plantas Piloto del Instituto Tecnológico de Orizaba. En la Figura 2.1 se presenta el diagrama del procedimiento general implementado, donde se detalla las etapas principales y las actividades realizadas en cada una de ellas.

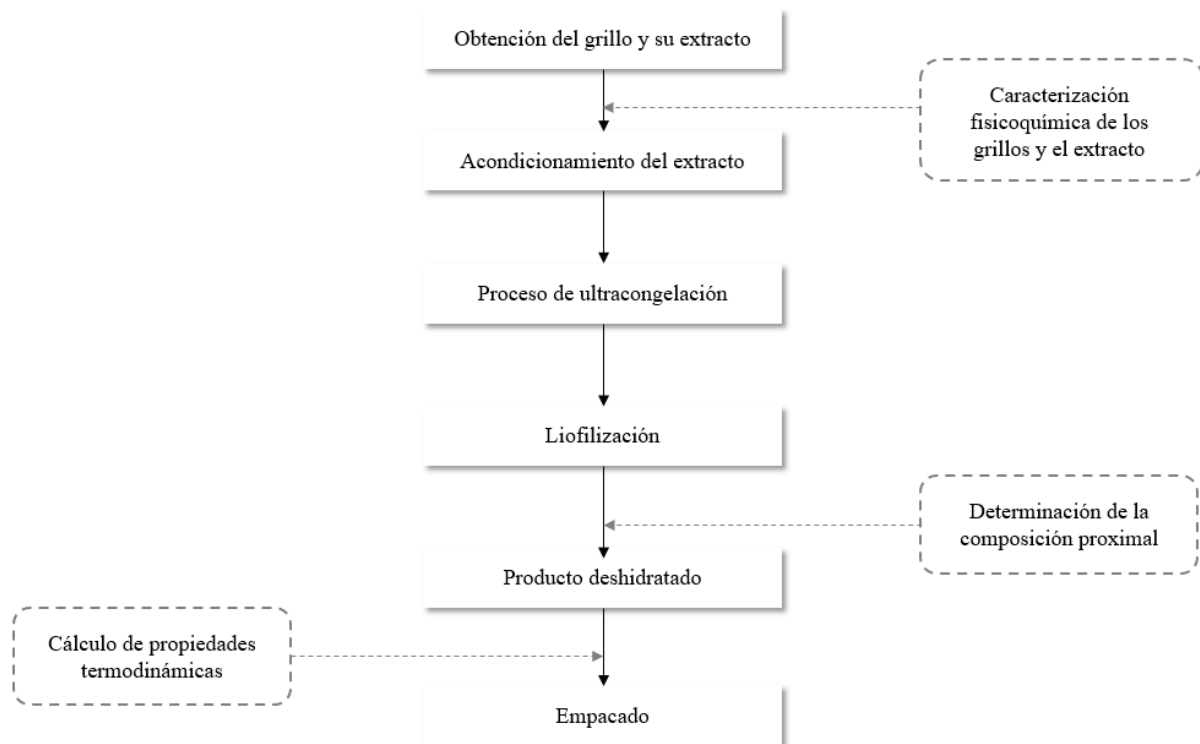


Figura 2.1 Metodología general del proceso de secado por liofilización, caracterización fisicoquímica y análisis de composición proximal de grillo y el extracto de grillo

2.2 Selección de la muestra

En la Figura 2.2 se exhiben las muestras de los grillos frescos y del extracto de grillo recolectados como base en el presente estudio. Dichas muestras fueron suministradas por la empresa BeChos, localizada en Veracruz, México. Cabe destacar que tanto los grillos como su extracto deben hallarse en un estado óptimo, exentos de cualquier indicio de crecimiento microbiano.



Figura 3.1. Extracto de grillo doméstico (10 y 15 % de sólidos totales) y los grillos frescos.

2.3 Análisis fisicoquímico del grillo

Se procedió a la evaluación de las características fisicoquímicas de las muestras de grillos y del extracto de grillo, tanto antes como después del proceso de secado mediante liofilización. Para llevar a cabo el análisis de los parámetros de actividad de agua y color, se emplearon los siguientes equipos: un medidor de actividad de agua marca VTSYIQI, modelo VTS-1606 y termobalanza marca Sartorius, modelo MA35M.000115M1 para el contenido de humedad, así como un colorímetro para muestras sólidas marca HunterLab, modelo MiniScan XE, y otro colorímetro para muestras líquidas marca HunterLab, modelo ColorQuest XE.

2.3.1 Determinación de actividad de agua

La determinación de la actividad de agua (a_w) fue llevada a cabo mediante una adecuada preparación de las muestras. En el caso de las muestras de grillo fresco, se emplearon cantidades de 1 y 2 gramos, mientras que, para el extracto fresco de grillo, se utilizaron de 5 a 10 gotas. En cuanto a las muestras liofilizadas, se dispuso de 1 a 2 gramos de muestra. Posteriormente, procedió a analizarlas en un equipo con una temperatura controlada de 25 ± 1 °C, el cual se muestra en la Figura 2.3, durante un intervalo temporal variable entre 2 y 15 minutos, dependiendo de la cantidad de agua en la muestra.



Figura 2.2 Activador de agua marca VTSYIQI, modelo VTS-160^a

2.3.2 Determinación del contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad (X) en las muestras de grillo y en el extracto derivado de él, se realizó colocando 1 gramo de muestra en el platillo alojado en la cámara de desecación. La muestra fue distribuida de forma homogénea, a una temperatura de 65 °C. Al concluir el ciclo de análisis del equipo, el cual se ilustra en la Figura 2.4, se obtuvo el valor de humedad relativa a la base seca del material.

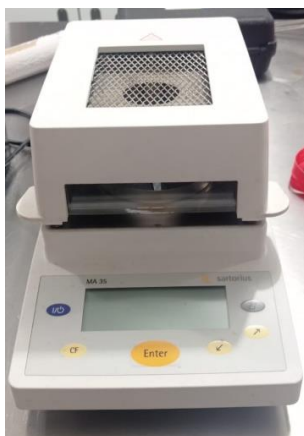


Figura 2.3 Termobalanza marca Sartorius, modelo MA35M.000115M1

2.3.3 Análisis de color

La determinación cromática de la muestra correspondiente al extracto de grillo fresco se llevó a cabo mediante el empleo del colorímetro marca HunterLab, modelo ColorQuest XE, seleccionada por su aptitud para muestras de naturaleza líquida, visible en la Figura 2.5. Respecto a las otras muestras, se optó por el uso del colorímetro marca HunterLab, modelo MiniScan XE, tal como se exhibe en la Figura 2.6. Mediante este análisis, se adquirieron los datos de luminosidad (L^*), así como las coordenadas cromáticas a^* y b^* . Estos resultados fueron presentados mediante una interfaz computacional, utilizando el programa Universal Software 4.0.



Figura 2.4 Colorímetro marca HunterLab, modelo MiniScan XE



Figura 2.5 Colorímetro marca HunterLab, modelo ColorQuest XE

Los valores L^* , a^* y b^* fueron empelados en el cálculo del ángulo de tonalidad H^* mediante la aplicación de la ecuación 2.1. Este parámetro denota la composición de la diferencia total de color de la muestra al finalizar el proceso de deshidratación, en relación con la muestra fresca tomada como estándar de referencia.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad 2.1$$

Donde:

$$\Delta L = L_{final} - L_{inicial}$$

$$\Delta a = a_{final} - a_{inicial}$$

$$\Delta b = b_{final} - b_{inicial}$$

2.4 Acondicionamiento de la muestra

Se implementaron dos modalidades de acondicionamiento para las muestras. La primera se sometió a un proceso de filtración con el fin de evaluar posibles alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y proteicas como consecuencia de la presencia de sedimentos indeseados durante el proceso de secado. En contraste, la segunda muestra fue extraída de manera íntegra del extracto. A continuación, se procedió con el pretratamiento de las muestras mediante la adición de maltodextrina ED-10 en concentraciones del 5 y 10 %. Las muestras fueron identificadas como M1 y M2 (con contenido de sólidos menor y mayor, respectivamente). En el caso de lo grillo domésticos, no se requirió someterlo a ningún tratamiento previo.

2.5 Proceso de liofilización

Para la obtención del extracto de grillo y el grillo doméstico (*Acheta domestica*) liofilizado se realizaron dos etapas: en la primera etapa se colocaron las muestras acondicionadas en los matraces marca LABCONCO, propios del equipo liofilizador y se llevaron a un proceso de ultra congelamiento en una cámara de enfriamiento (LABCON, USA) a una temperatura de $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 12 horas. En la segunda etapa, una vez congelada las muestras del extracto de grillo y del grillo, se utilizó el equipo liofilizador (LABCONCO, USA), ilustrado en la Figura 2.7, para el proceso de secado durante 22 horas. En esta etapa se consideró como factor de estudio un sistema de control de vacío cuyo set-point se encuentra entre los 0.1 y 0.5 mbar. Este equipo se encuentra ubicado en el laboratorio de Bioprocesos del Instituto Tecnológico de Orizaba.



Figura 2.6 Liofilizador de la marca LABCONCO, modelo 742002

2.5.1 Diseño de experimento

Con el objetivo de evaluar el proceso de liofilización del extracto de grillo y del grillo se aplicaron dos diseños de experimentos, un 2^3 y un 2^2 completamente al azar, con

su duplicado. Donde los factores para el extracto de grillo (*Acheta domesticus*) fueron tres variables cuantitativas con dos niveles: Contenido de solidos (CS) al 10 y 15 % en el extracto de grillo, contenido de maltodextrina adicionado de 5 y 10 %; y la presión del proceso de secado con 0.1 y 0.5 mbar. Dando un total de 8 experimentos los cuales se realizaron por duplicado. En la Tabla 2.1 se presentan las corridas experimentales correspondientes al diseño.

Tabla 2.1. Diseño experimental para la liofilización.

Exp.	Contenidos solidos (%)	% maltodextrina	Pva mbar
1	10	5	0.1
2	15	5	0.1
3	10	10	0.1
4	15	10	0.1
5	10	5	0.5
6	15	5	0.5
7	10	10	0.5
8	15	10	0.5

Mientras que para el diseño de experimento del grillo se tomaron en cuenta dos variables cuantitativas con dos variables de respuesta: Método de faena animal congelado y centrifugado; y la presión del proceso de secado con 0.1 y 0.5 mbar. Dando una total de 4 experimentos los cuales se realizaron por duplicado. En la Tabla 2.2 se presentan las corridas experimentales correspondientes al diseño

Tabla 2.2. Diseño experimental para la liofilización.

Experimento	Faena	Pva mbar
1	Congelado	0.1
2	Centrifugado	0.1
3	Congelado	0.5
4	Centrifugado	0.5

Las variables de interés evaluadas al concluir el proceso de liofilización fueron: la actividad de agua (a_w), el contenido de humedad expresado en términos

porcentuales (X), el color representado por los parámetros de L, a y b, el porcentaje de proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas.

2.6 Análisis proximal

Para la ejecución del análisis proximal de las muestras tanto en estado fresco como deshidratado, se aplicaron los métodos detallados a continuación.

2.6.1 Proteína

La determinación del contenido proteico se efectuó mediante el método Kjeldahl, expresado como un porcentaje de la masa total. Para calcular el contenido proteico de las muestras de grillo y extracto de grillo, se empleó un digestor de proteínas de la marca NOVATECCH, originario de México.

En el método Kjeldahl, de acuerdo con la NOM-F-68-S-1980, se digieren las proteínas como compuestos orgánicos complejos mediante la aplicación de ácido sulfúrico concentrado, en presencia de catalizadores como el sulfato de potasio y el sulfato de cobre. Este proceso conlleva a la conversión del nitrógeno orgánico total en sulfato de amonio. Posteriormente, la solución digerida es neutralizada mediante la adición de hidróxido de sodio al 30 %, y sometida a destilación, utilizando una solución de ácido bórico con una concentración de 4N. Los aniones generados de esta manera son titulados mediante el uso de HCL con una concentración de 0.1N en presencia del indicador de Shiro Tashiro, los cuales se convierten en el contenido nitrogenado de la muestra.

La determinación del contenido proteico implica, en primer lugar, la cualificación del porcentaje de nitrógeno contenido en la muestra, tal como se describe en la ecuación 2.1 propuesta por Iturbe y Sandoval en su trabajo de 2011.

$$\%N = \frac{14 * N [HCl] * V [HCl]}{mg Muestra} * 100 \quad 2.1$$

La ecuación se expone de la siguiente manera: El valor 14 corresponde al peso molecular del nitrógeno, N [HCl] denota la normalidad del ácido clorhídrico empleado, V [HCl] representa el volumen, expresado en mililitros, utilizado durante la titulación de la muestra y los miligramos de muestra utilizados en el procedimiento se multiplican por 100.

En segundo lugar, una vez obtenido el porcentaje de nitrógeno de la muestra, se procede a multiplicarlo por su factor de conversión 6.25. Este factor se deriva de la premisa de que gran parte de las proteínas poseen una proporción aproximada de 16 % de nitrógeno.

2.6.2 Grasas

La extracción se efectuó mediante el método Soxhlet, conforme las pautas estipuladas en la normativa NMX-F-089-1978. Se emplearon, aproximadamente, 2 gramos de la muestra, los cuales se colocaron en cartuchos de papel filtro y fueron introducidos en la cámara de extracción. Se procedió a adaptar el matraz recolector en la parte inferior del equipo y se añadió hexano por el extremo superior del refrigerante; posteriormente, se aplicó calor al sistema para alcanzar una temperatura de aproximadamente 350 °C. Al concluir el tiempo de extracción, se recuperó el hexano del sistema, y se dejó transcurrir un tiempo para permitir el enfriamiento del matraz con la muestra extraída, para luego realizar el proceso de secado hasta alcanzar un peso constante. Los cálculos necesarios se realizaron mediante la aplicación de la ecuación 2.2.

$$\% \text{ grasas} = \frac{\text{Peso final} - \text{Balón vacío}}{\text{g muestra}} \times 100 \quad 2.2$$

2.6.3 Cenizas

El método de determinación en seco prevalece como la técnica predominante para la cuantificación global de minerales en productos alimenticios. Se fundamenta en la descomposición de la materia orgánica, dejando componentes inorgánicos en la

muestra. Su eficiencia radica en la determinación tanto de cenizas solubles en agua como insolubles y solubles en medio ácido.

El procedimiento seguido para la determinación de cenizas, de acuerdo con lo reportado por Iturbe y Sandoval (2011), consistió en exponer a los crisoles con un contenido de 5 gramos de muestra a un proceso de secado en una estufa hasta alcanzar un peso constante, por un periodo de 3 horas. Posteriormente, se procedió a la calcinación en una mufla a una temperatura de 450 °C durante 1 hora. Una vez que los crisoles alcanzaban una temperatura ambiente, se procedió a su pesaje en una balanza analítica y los cálculos pertinentes se llevaron a cabo aplicando la ecuación 2.3.

$$\% \text{ de cenizas totales} = \frac{\text{crisol}_{final} - \text{crisol}_{vacío}}{g \text{ muestra}} * 100 \quad 2.3$$

2.6.4 Carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó mediante el enfoque de diferencia, que implica la sustracción de los porcentajes de agua, proteína y cenizas al 100%, resultando en el porcentaje de carbohidratos. Los cálculos correspondientes se llevaron a cabo utilizando la ecuación 2.4, reportada por Iturbe y Sandoval (2011).

$$\begin{aligned} \% \text{ carbohidratos} & \quad 2.4 \\ & = 100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ proteína} - \% \text{ lípidos} - \% \text{ minerales} \end{aligned}$$

2.7 Análisis térmico

Se efectuó el análisis de las propiedades térmicas de las muestras de grillo y de extracto de grillo, específicamente la conductividad térmica y el calor específico, tanto antes como después del proceso de secado mediante liofilización.

2.7.1 Determinación de la conductividad térmica

La determinación de la conductividad térmica al concluir el proceso de liofilización, se efectuó mediante la aplicación de la ecuación empírica 2.5, desarrollada por Sweat. Esta ecuación fue propuesta específicamente para alimentos en estados tanto sólidos como líquidos, reportada por Singh y Heldman (1998).

$$K = 0.25m_c + 0.155m_p + 0.16m_f + 0.135m_a + 0.58m_m \quad 2.5$$

Donde la variable m representa la proporción en peso, y los subíndices c, p, f, a y m, corresponden a los componentes de carbohidratos, proteína, grasas, cenizas y humedad, respectivamente. La conductividad térmica se expresa comúnmente en unidades de W/m°C.

2.7.2 Determinación de calor específico

Se utilizó la ecuación 2.6, propuesta por Singh y Heldman (1998), para determinar el calor específico de los productos de composición conocida.

$$C_p = 1.424m_c + 1.549m_p + 1.675m_f + 0.837m_a + 4.187m_m \quad 2.6$$

Donde la variable m representa la proporción en peso, y los subíndices c, p, f, a y m, corresponden a los componentes de carbohidratos, proteína, grasas, cenizas y humedad, respectivamente. Las unidades del calor específico son reportadas en kJ/kg°C y kJ/kg°K

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del extracto de grillo y del grillo entero fresco (*Acheta domesticus*)

Los insectos comestibles se presentan como una solución viable y prometedora para abordar la problemática de seguridad alimentaria, gracias a su destacada condición como una fuente proteica de alta calidad. De acuerdo con la investigación presentada por García-Segovia y Martínez-Monzó 2020, demuestra que el grillo doméstico (*Acheta domesticus*) se posiciona como uno de los insectos de cría más prometedores. Esta afirmación encuentra respaldo en el estudio Apolo-Arévalo y Iannacone (2015), quienes corroboran que el componente más importante del grillo doméstico reside en las proteínas, seguidas por su contenido de ácidos grasos, vitaminas del complejo B, sales minerales, calcio y magnesio.

Para efectuar este proyecto de investigación se emplearon dos muestras de extracto de grillo, identificados como M1 (con un contenido de sólidos totales del 10 %) y M2 (con un contenido de sólidos totales del 15 %). Adicionalmente, se incorporaron dos muestras de grillo doméstico entero, etiquetados como G1 (grillo doméstico sometido al proceso de congelación previo a su sacrificio) y G2 (grillo doméstico sometido al proceso de centrifugación previo a su sacrificio). Cabe señalar que las muestras fueron proporcionadas por la empresa BeChos, ubicada en Veracruz, México. Los análisis presentados a continuación fueron sometidos a un rigor metódico, para garantizar la validez de los datos obtenidos.

3.1.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico fresco

Se procedió a realizar un análisis fisicoquímico de las muestras M1 y M2, mediante el cual se determinaron la actividad de agua (a_w), el contenido porcentual de humedad, así como la evaluación de los parámetros de color. Este proceso implementó las técnicas analíticas descritas en el capítulo 2.

Tabla 3.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico fresco

Muestra	CS	a_w	Humedad	Color		
	(%)		(%)	L^*	a^*	b^*
M1	10	0.93 ^{0.004}	89.53 ^{0.014}	1.73 ^{0.254}	0.15 ^{0.106}	-1.05 ^{0.042}
M2	15	0.95 ^{0.033}	83.59 ^{0.240}	1.55 ^{0.190}	1.63 ^{0.332}	-2.55 ^{0.17}

Tras la caracterización de las muestras de extracto de grillo doméstico (M1 y M2), se observó que ambas muestras exhiben datos de actividad de agua (a_w) superiores a 0.95 y presentan un contenido de humedad notablemente alto (%X>89.5). Estos valores indican que se trata de un alimento perecedero, lo cual hace énfasis en la importancia de someterlo a un proceso de secado.

La implementación de este procedimiento resulta importante para evitar el riesgo de proliferación microbiana y salvaguardar al producto obtenido ante el proceso de descomposición. Adicionalmente, es relevante destacar que esta medida conlleva a un doble propósito; prolongar la vida útil de anaquel de producto y potencializar los compuestos físicos y químicos del producto.

Además, es posible observar una baja luminosidad en las muestras, la cual se atribuye a la coloración tan oscura que presentan las muestras M1 y M2 en su estado fresco. Asimismo, se puede apreciar una cromaticidad inclinada hacia el espectro rojo-azul. La tonalidad de matiz rojizo se asocia a los parámetros de a^* , mientras que la tonalidad de matiz azulado corresponder a los parámetros de $-b^*$. En base a los resultados, podemos inferir que M1 obtuvo mejores valores de color que M2, sugiriendo que los valores obtenidos se ven influenciados por el contenido de solidos totales que presenta cada muestra.

3.1.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico fresco

Se efectuó el análisis proximal de las muestras M1 y M2, a través del cual se determinaron los contenidos proteína, grasas, cenizas totales y carbohidratos. Este

procedimiento se realizó implementado las técnicas analíticas detalladas en el capítulo 2 y sus resultados se encuentran detallada en el Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico fresco

Muestra	CS (%)	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
M1	10	9.22 ^{0.325}	13.80 ^{0.197}	1.71 ^{0.155}	14.26 ^{0.353}
M2	15	9.02 ^{0.113}	10.53 ^{0.438}	1.30 ^{0.077}	4.44 ^{0.077}

El contenido de proteínas se sitúa en torno al 9 % aproximadamente, lo cual indica que las muestras de extracto de grillo en su estado fresco presentan una cantidad considerable de este componente, el cual puede ser potencializado mediante un proceso de secado adecuado. La concentración de proteínas en las muestras del extracto de grillo en comparación con los grillos enteros es baja, esto se le atribuye a la dilución del concentrado en agua. Sin embargo, este porcentaje de contenido proteico se encuentra dentro de los intervalos documentados en la investigación de Zielinska *et al.*, (2019). Es fundamental destacar que esta comparación se basa en los resultados obtenidos del extracto de grillo de esta investigación y el porcentaje reportados del grillo entero. Esto se debe a la ausencia de estudios que permitan realizar una comparación con otro extracto de grillo doméstico.

Se observa que la muestra presenta una proporción de grasas más elevada en comparación con los demás componentes analizados, presentando un contenido de 13.80^{0.197} % en la muestra M1 y un 10.53^{0.438} % en la muestra M2. Respecto a los valores obtenidos para las cenizas totales y los carbohidratos, no es posible especificar en esta investigación, qué minerales están presentan en las muestras ni determinar el porcentaje exacto de grasas solubles e insolubles que estas contiene. Sin embargo, debido al porcentaje de cenizas obtenido, 1.71^{0.155} % en el caso de la muestra M1 y 1.30^{0.077}% en la muestra M2; así como los porcentajes de carbohidratos registrados; que se situaron en 14.26^{0.353}% para la muestra M1 y 4.44^{0.077} % para la muestra M2, es posible apoyarse en la literatura. De acuerdo con

el reporte de Huis *et al.*, (2013), se puede inferir que la muestra es rica en calcio, magnesio y grasas buenas.

En otros estudios, se han identificado niveles de antioxidantes en un rango entre 0.178 – 0.647 % mg trolox/g de aceite, en la obtención de un aceite derivado del grillo doméstico (*Acheta domestica*).

3.1.3 Análisis fisicoquímico y proximal del grillo domestico fresco

Se procedió a llevar a cabo un análisis fisicoquímico del grillo doméstico con el propósito de determinar posibles variaciones en los componentes del grillo doméstico atribuibles al método de sacrificio utilizado, además de evaluar sus propiedades en su estado fresco. Los resultados correspondientes a la actividad de agua (a_w), porcentaje de humedad (%X) y los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) se encuentran detallados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Análisis fisicoquímico del grillo doméstico fresco

Muestra	Faena	a_w	Humedad (%)	Color		
				L^*	a^*	b^*
G1	Congelado	0.87 ^{0.007}	54.25 ^{0.572}	14.56 ^{0.516}	2.46 ^{0.268}	4.22 ^{0.268}
G2	Centrifugado	0.85 ^{0.014}	50.46 ^{0.905}	21.53 ^{0.148}	1.76 ^{0.494}	7.74 ^{0.820}

Se evidencia la obtención de resultados de actividad agua (a_w) superiores a 0.85, así como porcentajes de humedad elevados (%X>54 %). Esto señala que el grillo doméstico en su estado fresco es un producto perecedero, por tal motivo se recomienda la aplicación de un método de secado. Este no solo serviría para evitar la proliferación microbiana y extender su vida en anaquel, sino también para salvaguardar la salud alimentaria del consumidor y potencializar sus componentes nutricionales y sensoriales del producto, como el porcentaje de proteína, color, aroma y sabor.

En lo que respecta a los parámetros de color, se infiere que el grillo doméstico presenta una baja luminosidad, debido a la tonalidad café oscuro que lo caracteriza.

No obstante, se observa una marcada diferencia en cuanto a la luminosidad entre en el método de sacrificio mediante centrifugación y el procedimiento de congelación, siendo más elevada su luminosidad en el primer método. Ambas muestras presentan una tonalidad cromática roja- amarillo. La tonalidad de matiz rojizo se asocia a los parámetros de a^* , mientras que la tonalidad de matiz amarillo corresponder a los parámetros de b^* . Concluimos que la muestra G2 obtuvo mejores valores de respuesta en lo que respecta a los parámetros de color que la muestra G1.

3.1.4 Análisis proximal del grillo domestico fresco

Se realizó el análisis proximal del grillo domestico fresco, con el objetivo de determinar si el método utilizado para su sacrificio interfiere con sus propiedades químicas. Se determinaron los contenidos proteína, grasas, cenizas totales y carbohidratos y los resultados obtenidos se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Análisis proximal del grillo domestico fresco

Muestra	Faena	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
G1	Congelado	22.17 ^{0.551}	4.14 ^{0.056}	2.39 ^{0.106}	17.04 ^{0.183}
G2	Centrifugado	21.37 ^{0.381}	0.94 ^{0.014}	2.45 ^{0.353}	24.78 ^{0.155}

Se puede notar una diferencia entre los porcentajes de proteína obtenidos, siendo más elevado el contenido proteico por el método de sacrificio por congelación con un valor de 22.17^{0.551} % en comparación del porcentaje proteico por el método de sacrificio por centrifugado con un valor de 21.37^{0.381} %. Sin embargo ambos valores, se encuentran entre los rangos reportados en la investigación de Payne *et al.* (2016).

Podemos deducir que los niveles de grasas son reducidos, dado a que obtuvieron valores por debajo del 5 %. Esto sugiere que el grillo domestico constituye una fuente de alimento saludable que, además de proporcionar una cantidad

significativa de proteínas en comparación con otros alimentos, como el huevo, el cual tiene un porcentaje de proteica de 12.56 % por masa seca; presenta un contenido bajo de grasas y carbohidratos. Adicionalmente, al obtener un porcentaje de 2 % de cenizas totales, aproximadamente, se puede sugerir que el grillo doméstico (*Acheta domestica*) en su estado fresco contiene una proporción de minerales.

3.2 Aplicación del proceso de liofilización del extracto de grillo (*Acheta domestica*)

La implementación del método de deshidratación por liofilización en las muestras de extracto de grillo doméstico (M1 y M2) y del grillo doméstico (G1 y G2), constituye una parte fundamental en la investigación que respalda esta tesis. Para el proceso de secado se acondicionaron las muestras conforme a lo establecido previamente en el capítulo 2.

En esta etapa de la investigación, se establecieron como variables de respuesta el porcentaje de humedad (%H), la actividad de agua (a_w), los parámetros de color (L^* , a^* , b^* y ΔE), el porcentaje de proteínas, grasas, cenizas totales y carbohidratos; tanto previamente como posteriormente al proceso de liofilizado. Los valores obtenidos fungieron como parámetros para evaluar la calidad del extracto de grillo doméstico como del grillo doméstico (*Acheta domestica*). Además, estos parámetros ejercen un rol fundamental en la determinación de las propiedades térmicas de dichos productos.

Con el propósito de obtener un producto con una alta estabilidad y los valores más destacados para los factores previamente descritos (contenido de sólidos totales, porcentaje de maltodextrina presión, en el caso del extracto de grillo doméstico; y fauna animal y presión, en el caso de los grillo domésticos), se ejecutó una serie de experimentos, cuyos resultados se presentan a continuación.

3.3 Caracterización del extracto de grillo y del grillo liofilizado (*Acheta domesticus*)

En la Figura 3.1 se exhiben visualmente las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domesticus*), conforme al diseño de experimento propuesto. Se destaca la obtención de una harina de tonalidad completamente café, acompañada de un aroma parecido al cacao. Estas muestras son comparables a las presentadas en el estudio realizado por Nidiritu *et al.*, (2018).

Cabe destacar que, en esta investigación, no efectuó ningún procedimiento de molienda para la obtención de esta presentación. Este es el resultado directo del extracto de grillo doméstico luego de haber sido sometido al método de liofilización.

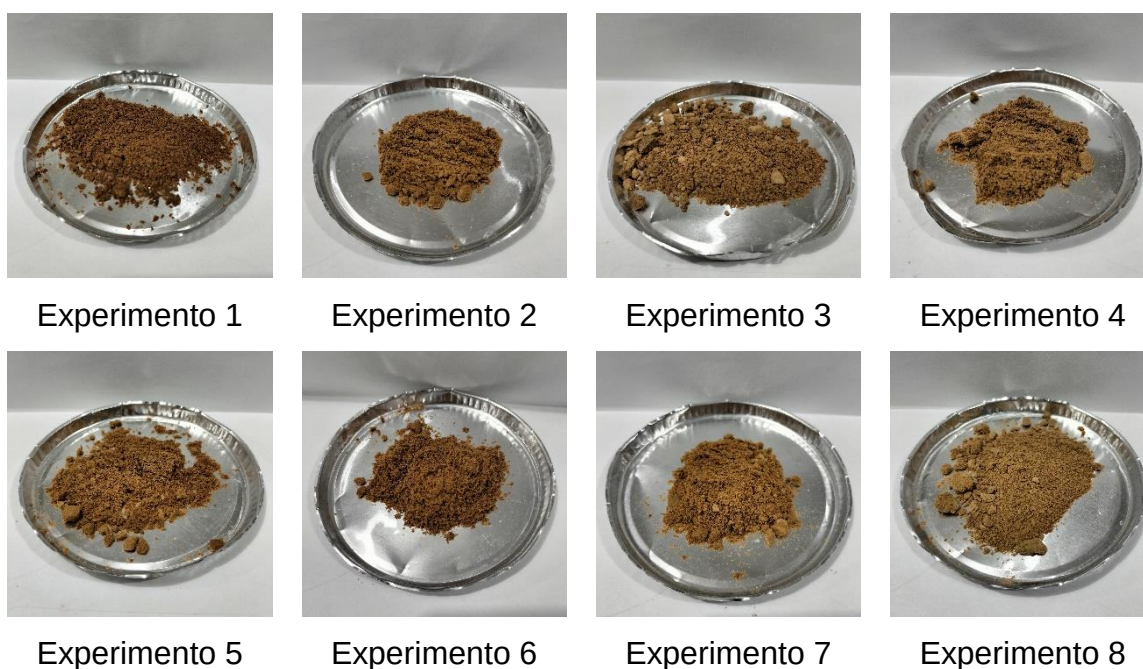


Figura 3.1 Muestras liofilizadas del extracto de grillo (*Acheta domesticus*)

En la Figura 3.2 se presenta las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domesticus*) de forma microscópica en un lente 15x (OppoReno7). En ella podemos observar los cristales generados en las etapas de supercogelación y sublimación, propias del proceso del proceso de liofilización. Adicionalmente, se

aprecia una tonalidad café claro, la cual se atribuye a la adicción de maltodextrina como agente conservante.

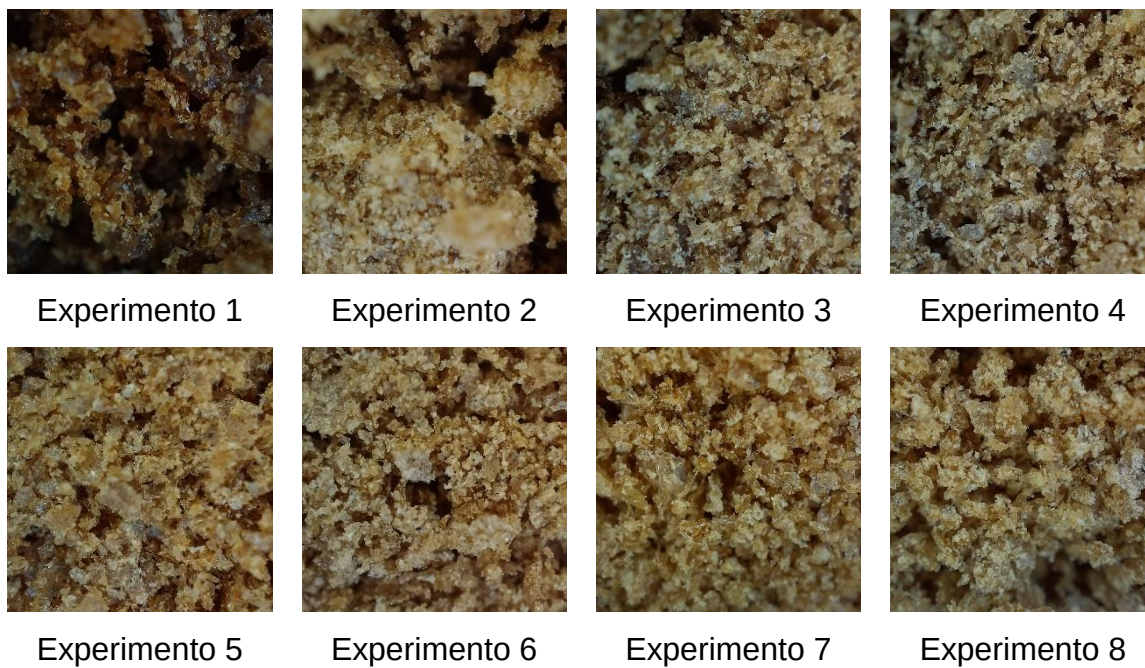


Figura 3.2 Color y tamaño de partícula de las muestras liofilizadas del extracto de grillo (*Acheta domesticus*)

En las Figuras 3.3 se exhiben las representaciones visuales de las muestras liofilizadas de los grillo doméstico (*Acheta domesticus*). Es evidente que han conservado su forma y tonalidad característica del grillo doméstico, la cual es de tono café. Además, no se detecta la presencia de ningún aroma que pudiera resultar descargable para el consumidor.



Experimento 1

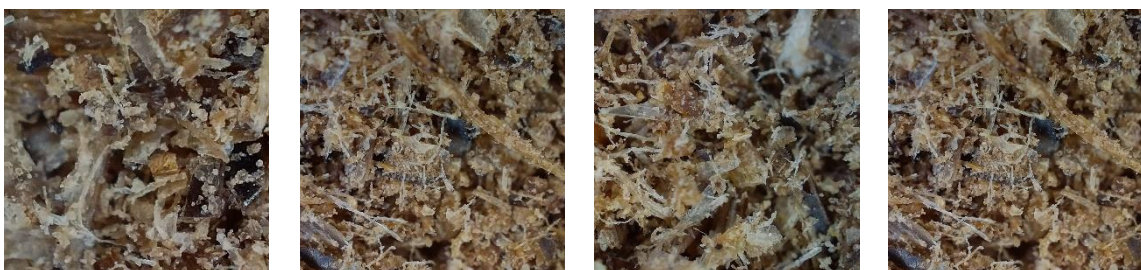
Experimento 2

Experimento 3

Experimento 4

Figura 3.3 Muestras liofilizadas del grillo (*Acheta domesticus*)

En la figura 3.5 se exhiben las representaciones visuales las muestras liofilizadas del grillo doméstico (*Acheta domesticus*) de forma microscópica en un lente 15x (OppoReno7). Podemos notar que no tiene una apariencia uniforme, en comparación con las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico. Aquí se puede observar además de los cristales formados por el proceso de secado aplicado, restos del exoesqueleto de grillo.



Experimento 1

Experimento 2

Experimento 3

Experimento 4

Figura 3.4 Color y tamaño de partícula de las muestras liofilizadas del grillo (*Acheta domesticus*)

3.3.1 Análisis fisicoquímico del extracto de grillo domestico liofilizado

Se efectuó el análisis fisicoquímico de las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domesticus*) conforme al diseño de experimento propuesto. En el cual se determinaron la actividad de agua (a_w), el contenido porcentual de humedad, si como la evaluación de los parámetros de color.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de varianza ANOVA con prueba de Tukey, utilizando un nivel de significación de $\alpha=0.05$, con la finalidad de discernir si existen variación importante entre las varias de respuesta obtenidos en el diseño experimental. Eso permitió determinar cuál experimento demostró un desempeño óptimo. Adicionalmente, se empleó un nivel de significancia $p \leq 0.05$ para identificar qué factor ejerce una influencia predominante en la obtención de las variables de respuesta. Este análisis se realizó utilizando el software estadístico Minitab, versión 18.

3.3.1.1 Contenido de humedad y actividad de agua del extracto de grillo doméstico liofilizado

El porcentaje de humedad y la actividad de agua (a_w) representan variables que influyen en el crecimiento microbiano, así como en las propiedades sensoriales como el sabor, textura y capacidad de almacenamiento a largo plazo. Los resultados correspondientes al porcentaje de humedad (%X) y la actividad de agua (a_w) junto con sus respectivas desviaciones estándar y condiciones de secado para los diferentes experimentos planteados, se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Contenido de humedad y actividad de agua del extracto de grillo domestico liofilizado

Experimento	CS (%)	Maltodextrina (%)	Pva (%)	Humedad (%)	a_w
1	10	5	0.1	3.24 ^{0.212}	0.20 ^{0.028}
2	15	5	0.1	2.04 ^{0.084}	0.21 ^{0.014}
3	10	10	0.1	1.64 ^{0.353}	0.12 ^{0.014}
4	15	10	0.1	2.23 ^{0.077}	0.11 ^{0.007}
5	10	5	0.5	3.52 ^{0.169}	0.19 ^{0.014}
6	15	5	0.5	3.38 ^{0.197}	0.19 ^{0.007}
7	10	10	0.5	4.21 ^{0.084}	0.20 ^{0.028}
8	15	10	0.5	4.46 ^{0.176}	0.18 ^{0.007}

Se denota que se lograron porcentajes de humedad por debajo del 5 %, umbral esencial para preservar las características sensoriales, como el sabor y el valor nutricional de los alimentos deshidratados, de acuerdo con los valores establecidos por Geankoplis (1998). Asimismo, se logró un rango de valores para la actividad de agua (a_w) entre 0.20 y 0.11, lo que garantiza la vida útil de anaquel del extracto de grillo liofilizado y previene la proliferación microbiana, de acuerdo con el estudio de Barbosa-Cánovas *et al.*, (2020).

Los resultados de actividad de agua (a_w) y porcentaje de humedad informados por Khtum *et al.*, (2021), en su investigación coinciden con los obtenidos en esta investigación. Los valores de a_w fueron cercanos a 0.20, aproximadamente; mientras que el contenido de humedad presentó un porcentaje superior al 1.27%, resultado que concuerda con el obtenido en el Experimento 3 del diseño experimental.

En su análisis estadístico, los resultados arrojaron que hay una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre algunos experimentos en las variables de respuesta de la a_w y contenido de humedad. Los experimentos 3 y 4 exhibieron valores inferiores de a_w en comparación con el resto de experimentos. Cabe señalar, que se identificó un efecto significativo ($p\leq 0.05$) entre los factores de contenido de sólidos totales y el porcentaje de maltodextrina sobre la a_w .

Adicionalmente, el análisis estadístico del contenido de humedad reveló una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los experimentos. Se destacan los experimentos 4, 3 y 2, los cuales, al utilizar una presión de secado de 0.1 mbar, experimentaron una notable disminución en su contenido de humedad. Además, es fundamental hacer mención que el efecto ejercido por la presión sobre el contenido de humedad ostenta una variación importante ($p\leq 0.05$) con un nivel de confianza del 95%.

3.3.1.2 Parámetro de color del extracto de grillo domestico liofilizado

La Tabla 3.6 muestra los parámetros de color obtenidos de las muestras liofilizadas. Se denoto un incremento significativo ($\alpha=0.05$) en los valores de luminosidad (L^*), siendo el experimento 8, 7 y 3 los que mostraron mejores valores. Además, se corroborará que hay una variación estadísticamente notable ($p\leq 0.05$) entre el porcentaje de maltodextrina añadida a las muestras y el aumento de luminosidad.

Las muestras liofilizadas presentan una tonalidad cromática roja-amarilla. La tonalidad rojiza está asociado a los parámetros de a^* y se observa una influencia de la presión de secado en estos parámetros, con una diferencia significativa ($p\leq 0.05$). Por otro lado, la tonalidad amarilla está relacionada con los parámetros de b^* y al igual que la luminosidad, el porcentaje de maltodextrina ejerce una influencia significativa ($p\leq 0.05$) sobre el parámetro de color b^* .

Tabla 3.6 Parámetro de color del extracto de grillo domestico liofilizado

Experimento	CS (%)	Maltodextrina (%)	Pva (mbar)	L^*	a^*	b^*
1	10	5	0.1	19.91 ^{0.035}	4.20 ^{0.162}	6.37 ^{0.261}
2	15	5	0.1	21.15 ^{0.240}	4.57 ^{0.127}	7.10 ^{0.012}
3	10	10	0.1	24.35 ^{0.205}	3.97 ^{0.268}	8.30 ^{0.176}
4	15	10	0.1	23.37 ^{0.353}	3.77 ^{0.063}	8.37 ^{0.212}
5	10	5	0.5	22.16 ^{0.120}	5.59 ^{0.070}	8.34 ^{0.353}
6	15	5	0.5	20.07 ^{0.233}	4.25 ^{0.360}	7.23 ^{0.148}
7	10	10	0.5	24.47 ^{0.282}	5.63 ^{0.035}	8.29 ^{0.205}
8	15	10	0.5	24.97 ^{0.056}	4.48 ^{0.325}	9.47 ^{0.091}

La Figura 3.5, se presentan los valores de ΔE , que indica la discrepancia de color entre las muestras liofilizadas. Se denota una variación significativa ($\alpha=0.05$) entre los experimentos, siendo el experimento 8 el que muestra la mayor diferencia de color con los parámetros de color. También se evidencia una influencia significativa ($p\leq 0.05$) del porcentaje de maltodextrina añadido en relación a ΔE . Estos datos

permiten concluir que las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domestica*) presentan una coloración física atractiva para su comercialización.

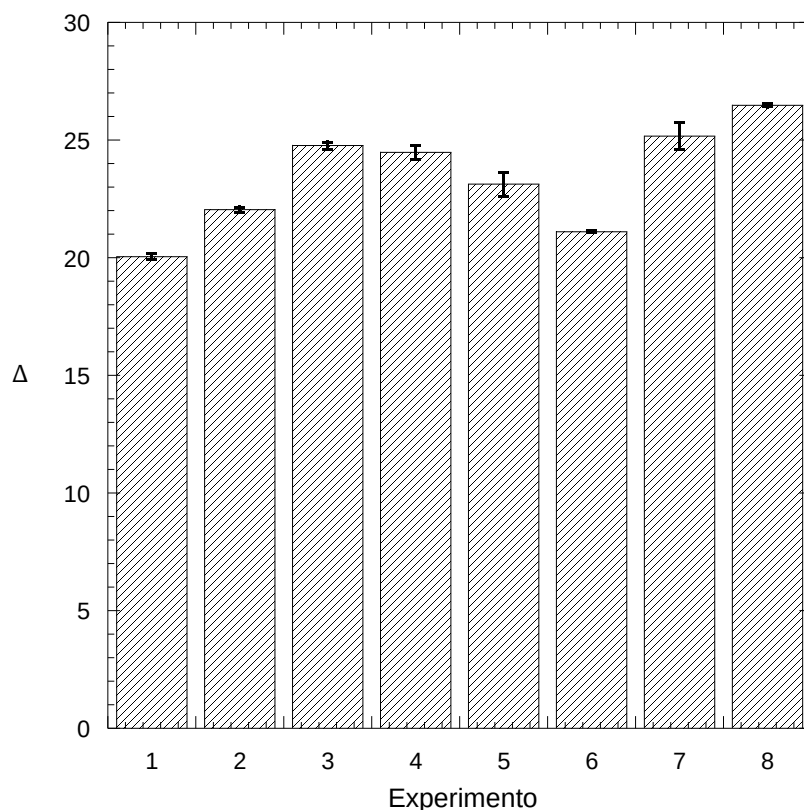


Figura 3.5 Parámetro ΔE del extracto de grillo doméstico liofilizado (*Acheta domestica*)

3.3.2 Análisis proximal del extracto de grillo domestico liofilizado

Se efectuó el análisis proximal de las muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domestica*) conforme al diseño de experimento propuesto. En el cual se determinaron los porcentajes de proteína, cenizas totales, grasas y carbohidratos. Adicionalmente, se realizó un análisis estadístico ANOVA, para determinar que experimento obtuvo los resultados óptimos y cuales factores ejercen influencia sobre las variables de respuesta.

En la Tabla 3.7 considerando que los valores de proteínas en la mayoría de las muestras de alrededor de 40% en el extracto deshidratado, el producto se hace atractivo para futuras aplicaciones, como la harina y la obtención de aceite, los

cuales son productos de alto consumo y comercio, básicos para integrarlos en la dieta humana, de acuerdo con lo reportado por Lucas González *et al.*, (2019).

Además, es importante mencionar que no hay registro de valores relacionado a un extracto de grillo doméstico, por la tanto las comparaciones serán con respecto al grillo domestico liofilizado o alimentos que también hayan sido sometidos a este tipo de secado.

Tabla 3.7 Análisis proximal del extracto de grillo domestico liofilizado

Experimento	CS (%)	Maltodextrina (%)	Pva (mbar)	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
1	10	5	0.1	42.62 ^{0.162}	9.11 ^{0.162}	6.62 ^{0.077}	38.39 ^{0.261}
2	15	5	0.1	43.18 ^{0.296}	11.87 ^{0.233}	6.28 ^{0.190}	36.62 ^{0.806}
3	10	10	0.1	39.53 ^{0.374}	6.81 ^{0.056}	6.02 ^{0.134}	45.99 ^{0.056}
4	15	10	0.1	39.28 ^{0.233}	9.18 ^{0.148}	6.33 ^{0.070}	42.96 ^{0.233}
5	10	5	0.5	46.73 ^{0.395}	8.73 ^{0.219}	9.36 ^{0.261}	31.65 ^{0.183}
6	15	5	0.5	47.08 ^{0.065}	11.28 ^{0.120}	7.16 ^{0.240}	31.09 ^{0.374}
7	10	10	0.5	35.52 ^{0.247}	6.67 ^{0.028}	6.02 ^{0.296}	47.57 ^{0.007}
8	15	10	0.5	35.89 ^{0.388}	8.30 ^{0.120}	5.92 ^{0.233}	45.41 ^{0.325}

Las proteínas constituyen el principal compuesto en las muestras liofilizadas con porcentajes que oscilan entre 35 – 47 %/masa seca. Estos valores se asemejan al rango de proteína documentado por Levi e Itzhak Martínez (2017). De acuerdo con esta información, es evidente que el producto obtenido en su forma de harina posee un potencial considerable como fuente alimentaria alternativa, compitiendo el cual compite con fuentes de alimento convencionales, tales como el huevo (12.56%), el pollo (17.44%) y la res (19.42%). Es importantes descartar que el extracto de grillo liofilizado continúa destacando, por encima de los demás en este contexto.

En el análisis estadístico llevado a cabo, se denoto una variación notable ($\alpha=0.05$) entre los experimentos evaluado. Específicamente, los Experimentos 6 y 5, acondicionados con la adición 5 % de maltodextrina y una presión de 0.5 mbar, los que presentaron los niveles más sobresalientes de contenido proteico, registrando un incremento de 46.73^{0.395} % y 47.08^{0.065} %, respectivamente. Cabe destacar que

tanto el porcentaje de maltodextrina como la presión ejercen una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) sobre el contenido proteico final.

El segundo componente predominante en las muestras liofilizadas de extracto de grillo corresponde a los carbohidratos, con un rango que oscila entre 31 – 45 %/masa seca, seguido de los porcentajes de grasas, que se sitúa en un rango de 9 – 11 %/masa seca. Además, se observa la presencia de cenizas totales, presentando un porcentaje de 6%, aproximadamente. En términos generales, el análisis estadístico, mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, indica un efecto significativo de los factores del proceso de liofilización (específicamente el porcentaje de maltodextrinas y la presión a vacío) sobre las variables de respuesta, como lo son las grasas, carbohidratos y cenizas en el extracto deshidratado.

3.3.3 Análisis fisicoquímico del grillo domestico liofilizado

Se efectuó el análisis fisicoquímico de las muestras liofilizadas del grillo doméstico (*Acheta domesticus*) conforme al diseño de experimento propuesto. En el cual se determinaron la actividad de agua (a_w), el contenido porcentual de humedad, si como la evaluación de los parámetros de color. Además, se ejecutó un análisis de varianza ANOVA con prueba de Tukey, utilizando un nivel de significación de $\alpha=0.05$ y una $p \geq 0.05$, para determinar que experimento obtuvo los resultados más óptimos y cuales factores ejercen influencia sobre las variables de respuesta.

3.3.3.1 Contenido de humedad y actividad de agua del grillo domestico liofilizado

La Tabla 3.8 presenta los porcentajes de humedad (%X), así como los resultados de actividad de agua (a_w), parámetros importantes en la evaluación del proceso de deshidratación por liofilización para conseguir un producto deshidratado estable, siempre y cuando el contenido de humedad y la actividad de agua estén por debajo

del 5 % y 0.2, respectivamente, para respaldar la calidad del producto final y salvaguardar al consumidor.

Tabla 3.8 Contenido de humedad y actividad de agua del grillo domestico liofilizado

Experimento	Faena	Pva (mbar)	Humedad (%)	a_w
1	Congelado	0.1	0.88 ^{0.007}	0.30 ^{0.007}
2	Centrifugado	0.1	0.66 ^{0.106}	0.19 ^{0.007}
3	Congelado	0.5	1.69 ^{0.084}	0.20 ^{0.007}
4	Centrifugado	0.5	2.55 ^{0.028}	0.19 ^{0.014}

Los porcentajes de humedad obtenidos en la presente investigación se sitúan por debajo del 3 %, lo que sugiere una notable extensión en la vida útil de anaquel del producto deshidratado obtenido. Estadísticamente, se observa una variación importante ($\alpha=0.05$) entre los experimentos, siendo el Experimento 1 y 2 los que registran los valores más bajos. Además, se verifica un efecto significativo ($p\leq 0.05$) de la presión empleada durante del proceso de liofilizado en el contenido de humedad.

En lo que respecta a los datos de actividad de agua (a_w) se registran por debajo del 0.30, indicando la ausencia de condiciones propicias para la proliferación microbiana, alineándose a lo establecido por Barbosa-Cánovas *et al.*, (2020). El análisis estadístico revela una variación notable ($\alpha=0.05$) entre los experimentos. Específicamente, los experimentos 2 y 4 exhiben los valores más bajos en este parámetro. Adicionalmente, se presencia una influencia entre el método de sacrificio empleado sobre la actividad de agua (a_w), demostrando una variación estadísticamente significativa ($p\leq 0.05$) con un nivel de confianza del 95%.

3.3.3.2 Parámetros de color del grillo domestico liofilizado

En la Tabla 3.9 se exponen los resultados promedios de los parámetros cromáticos de color (L^* , a^* , b^*) del grillo domestico liofilizado, conforme a los experimentos planteados en el diseño experimental. Se observa que los datos de luminosidad (L) disminuyeron notablemente ($\alpha=0.05$) después del proceso de liofilización, destacando el Experimento 4 por exhibir la mayor luminosidad. Asimismo, es evidente que tanto el factor de sacrificio animal y presión de vacío influyen significativamente ($p\leq 0.05$) en el parámetro de luminosidad (L). Los resultados indican se observó que la luminosidad (L) de las muestras deshidratadas varía de $14.21^{0.530}$ a $15.75^{0.381}$ para las condiciones de secado con 0.1 mbar y de $15.70^{1.067}$ a $16.94^{0.226}$ bajo condiciones de 0.5 mbar.

Tabla 3.9 Parámetros de color del grillo domestico liofilizado

Experimento	Faena	Pva (mbar)	L^*	a^*	b^*	ΔE
1	Congelado	0.1	$15.75^{0.381}$	$1.82^{0.091}$	$3.50^{0.190}$	$1.53^{0.005}$
2	Centrifugado	0.1	$14.21^{0.530}$	$0.99^{0.183}$	$4.66^{0.502}$	$7.99^{0.161}$
3	Congelado	0.5	$15.70^{1.067}$	$1.66^{0.516}$	$3.91^{0.473}$	$1.82^{0.647}$
4	Centrifugado	0.5	$16.94^{0.975}$	$1.24^{0.226}$	$4.37^{0.261}$	$5.72^{1.563}$

Respecto a los parámetros de a^* y b^* , las tonalidades se tornaron rojo-amarillas, cuyos valores están documentados en la Tabla 3.9. La tonalidad rojiza está asociado a los parámetros de a^* , mientras que la tonalidad amarilla está relacionada con los parámetros de b^* . En ambos parámetros se observa un efecto sobre el método de sacrificio, con una diferencia significativa ($p\leq 0.05$). Por otro lado, se exponen los valores de ΔE , que indica la diferencia de color entre las muestras liofilizadas. Se denota una variación importante ($\alpha=0.05$) entre los experimentos, siendo el experimento 2 el que muestra la mayor diferencia de color con los parámetros de color. Además, se evidencia una influencia significativa ($p\leq 0.05$) el método de sacrificio empleado en relación a ΔE .

3.3.4 Análisis proximal del grillo domestico liofilizado

En la Tabla 1, se aprecia que las proteínas constituyen el principal componente en estos insectos domésticos, registrando valores que oscilan entre el 62.13 % y 65.82 %, destacándose como las elevados. Las grasas representan el segundo nutriente en mayor proporción, registrando valores que oscilan entre el 20.47 % y 24.33 %. Ambos parámetros se ven afectados por variables como la dieta del insecto, el momento en el que efectuó el sacrificio dentro de su ciclo de vida, así como su método de faena animal empleado, tal como se reporta en la investigación realizada por Fernandez-Cassi *et al.*, (2019). Los porcentajes de proteínas y grasas obtenidos en este trabajo coinciden con los datos reportados por Lucas González *et al.*, (2019). En lo que respecta al contenido de cenizas, indica la presencia de minerales, mostrando valores del 4%, y los carbohidratos muestran valores del 7 %, resultado que coinciden los obtenidos por Pérez Horcajo (2018).

Tabla 3.10 Análisis proximal del grillo domestico liofilizado

Experimento	Faena	Pva (mbar)	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
1	Congelado	0.1	49.95 ^{0.296}	20.47 ^{0.183}	4.58 ^{0.431}	24.11 ^{0.551}
2	Centrifugado	0.1	53.92 ^{1.329}	21.22 ^{0.077}	4.64 ^{0.381}	19.55 ^{1.131}
3	Congelado	0.5	62.13 ^{0.678}	24.33 ^{0.042}	4.41 ^{0.148}	7.43 ^{0.487}
4	Centrifugado	0.5	65.82 ^{0.622}	21.57 ^{0.155}	4.32 ^{0.084}	5.74 ^{0.721}

En términos generales, el análisis estadístico, mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, indica un efecto significativo en el factor de presión a vacío sobre las variables de respuesta, como lo son las proteínas, las grasas, carbohidratos y cenizas en el extracto deshidratado.

3.4 Propiedades térmicas del extracto de grillo y del grillo doméstico liofilizado (*Acheta domesticus*)

Dado la implicación de la transmisión de calor en numerosas etapas del proceso y conservación de alimentos, es importante comprender las propiedades térmicas de los alimentos. Los datos de las propiedades térmicas son necesarios en la ingeniería y diseño de procesos.

3.4.1 Propiedades térmicas del extracto de grillo domestico previo y posterior al liofilizado

Las propiedades de los alimentos se transforman debido a la disminución de agua que experimentan, así como al efecto que el cambio de fase produce en el agua. A medida que el agua en el producto transmuta al estado sólido, sus características térmicas se ven modificadas de manera progresiva. Estas propiedades pueden estar relacionadas con la degradación de las propiedades fisicoquímicas del extracto liofilizado del grillo doméstico (*Acheta domesticus*), resultando importante evaluar los valores de conductividad térmica (k) y calor específico (C_p) en su forma fresca y en el producto liofilizado obtenido. Dichos valores para las muestras de extracto fueron los siguiente: para M1 k fue $59.32^{0.052}$ W/m°C y para M2 fue $52.85^{0.041}$ W/m°C. En cuanto al calor especifico (C_p), los resultados arrojaron $433.99^{0.646}$ Kj/Kg°C para M1 y $389.015^{0.75}$ Kj/Kg°C para M2.

En la Figura 3.9 se muestra la comparación entre muestras deshidratadas respecto a su conductividad térmica y el calor especifico del extracto liofilizado de grillo doméstico. Comparando los valores de estas propiedades térmicas del extracto y de muestras frescas se observa que los valores son mucho menores. Este resultado insinúa que existe una relación directa entre el contenido de agua presente en el extracto y las propiedades térmicas mencionadas anteriormente. De manera general, el análisis estadístico, mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, se observa una diferencia entro los experimentos, además se indica un efecto significativo ($p\leq 0.05$) en los factores del proceso de liofilización

(específicamente, el porcentaje de maltodextrina añadido y la presión de vacío) sobre las variables de respuesta.

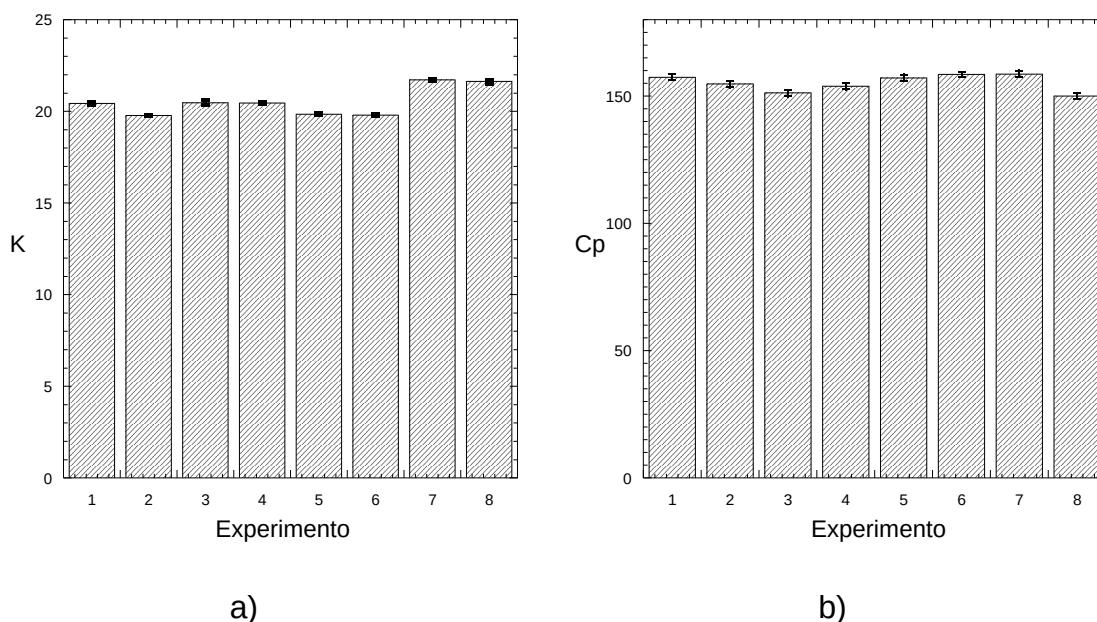


Figura 3.9 a) conductividad térmica y b) calor específico del extracto liofilizado del grillo domestico

3.4.2 Propiedades térmicas del extracto de grillo domestico previo y posterior al liofilizado

Las propiedades térmicas pueden influenciar a la degradación de las propiedades fisicoquímicas del grillo doméstico (*Acheta domesticus*), resultando importante, de igual forma que en el extracto de grillo doméstico, evaluar los valores de conductividad térmica (k) y calor específico (C_p) en su forma fresca y en el producto liofilizado obtenido. Dichos valores para las muestras de grillo doméstico fueron los siguiente: para G1 k fue $40.30^{0.22} \text{ W/m}^\circ\text{C}$ y para M2 fue $39.25^{0.376} \text{ W/m}^\circ\text{C}$. En cuanto al calor especifico (C_p), los resultados arrojaron $294.71^{1.465} \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ para G1 y $283.29^{2.657} \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ para M2.

En la Figura 3.10 se muestra la comparación entre muestras deshidratadas respecto a su conductividad térmica y el calor especifico del grillo doméstico. Comparando los valores de la conductividad termina y la capacidad calorífica de las muestras del

grillo doméstico previo y posterior al proceso de liofilizado, podemos observar que sus valores son mucho menores. Demostrando que hay una relación estrecha entre la cantidad de agua que tiene el producto y sus propiedades térmicas. El análisis estadístico, mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, arroja una diferencia entre los experimentos, además se indica un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el factor de presión de vacío sobre las variables de respuesta.

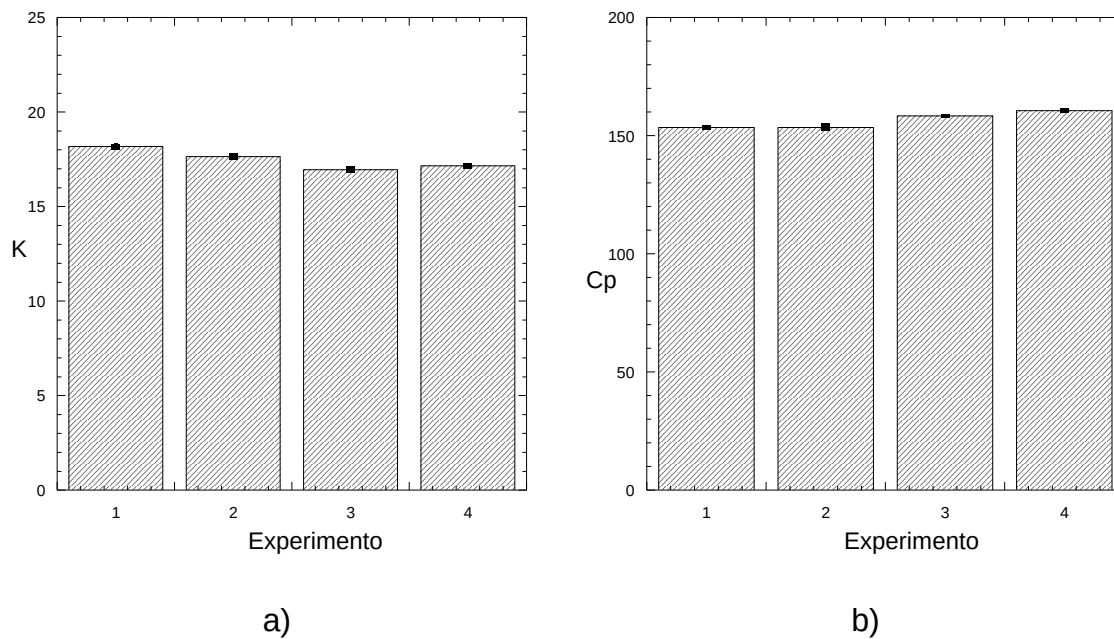


Figura 3.10 a) conductividad térmica y b) calor específico del grillo domestico liofilizado

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se efectuó una caracterización fisicoquímica y proximal del grillo doméstico y del extracto de grillo (*Acheta domestica*) antes y posterior al proceso de secado por liofilización. Además, se determinó por medio del efecto térmico, si este método de secado es óptimo para la obtención de un producto deshidratado que conserve las propiedades fisicoquímicas y el contenido proteico del insecto fresco.

Se emplearon cuatro tipos de muestras, dos muestras de extracto de grillo doméstico, las cuales presentaron un contenido de sólidos totales de 10 y 15 %, respectivamente. Adicionalmente, se etiquetaron como M1 y M2 en el mismo orden. A estas muestras se les realizó un acondicionamiento, el cual consistió en añadir maltodextrina ED-10 al 5 y 10 %. Además, se les aplicó un diseño de experimento 2³, en el cual se consideraron los siguientes factores: el contenido de sólidos totales, el porcentaje de maltodextrina y la presión aplicada durante el proceso de secado. Y las dos muestras adicionales fueron de grillo doméstico fresco, las cuales fueron sometidas a los métodos de sacrificio de congelación y centrifugación, respectivamente. Igualmente, se etiquetaron como G1 y G2 en el mismo orden. A estas muestras se les aplicó un diseño de experimento 2², en el cual se consideraron los siguientes factores: método de sacrificio y presión durante el método de deshidratación. El método de secado por liofilización se trabajó bajo las condiciones de presión de 0.1 y 0.5 mbar.

En la caracterización fisicoquímica previa al proceso de secado, con respecto a la a_w , se obtuvieron valores elevados de 0.95 en las muestras de extracto de grillo doméstico y 0.87 en las muestras de grillo doméstico fresco. En cuanto a %X se obtuvieron resultados mayores de 89.53 % en las muestras de extracto de grillo doméstico y 54.25 % en las muestras de grillo doméstico fresco.

Estos datos son determinantes para la disponibilidad de almacenamiento y se reducen al aplicar el método de conservación, obteniendo resultados de 0.21 en las muestras deshidratadas de extracto de grillo doméstico y 0.30 en las muestras deshidratadas de grillo doméstico, respecto a a_w . En relación con el %X se obtuvieron valores por debajo de 4.46 % en las muestras deshidratadas de extracto de grillo doméstico y 2.55 % en las muestras deshidratadas de grillo doméstico, tornándose estable el producto y sin riesgo de crecimiento microbiano.

Referente a los parámetros de color, si bien hubo una mejor luminosidad en los productos deshidratados obtenidos posteriormente al liofilizado en comparación de las muestras frescas, no es significativo, ya que estos mantienen el color marrón

oscuro, característico del grillo doméstico. Sin embargo, es importante denotar que el análisis estadístico arrojó que para una mayor luminosidad en el producto obtenido, se debe agregar un mayor porcentaje de maltodextrina ED-10, no obstante, esto puede ser contraproducente en las propiedades proximales, sobre todo en los porcentajes de carbohidratos y contenido proteico del alimento deshidratado. Además, es crucial mencionar que la tonalidad rojo-azulado de las muestras del extracto de grillo domestico previo al liofilizado, cambia a una tonalidad rojo-amarillo posterior al método de secado empleado en las muestras deshidratadas del extracto de grillo doméstico. Esta tonalidad rojiza es un punto interesante para investigaciones futuras, ya que denota la presencia de antioxidantes.

En el análisis proximal previo al proceso de secado, con respecto a la cantidad de proteínas, se obtuvieron valores de 0.95 en las muestras de extracto de grillo doméstico y 0.87 en las muestras de grillo doméstico fresco. Estos datos son importantes, dado que son un punto de comparación entre los productos deshidratados obtenidos posteriormente al método de liofilizado. Se hace énfasis en este punto, debido a que la investigación presente centra su atención principalmente a estos porcentajes. Los resultados obtenidos fueron mayores de 0.95 en las muestras deshidratadas del extracto de grillo doméstico y 0.87 en las muestras deshidratadas de grillo doméstico. En vista de que son altos porcentajes de proteína, se concluye que el alimento funcional obtenido, muestra ser una fuente alimentaria alterna, el cual compite con las fuentes de alimentos convencionales. Adicionalmente, cabe mencionar, que las demás propiedades proximales, se potencializaron, debido al método de conservación empleado.

A partir de los resultados arrojados en esta investigación, se puede inferir, que el proceso de liofilización ha sido identificado como una alternativa al tratamiento térmico del extracto y del grillo doméstico (*Acheta domesticus*), además, de proporcionar información útil para fomentar la producción, consumo y comercialización de este insecto comestible. Asimismo, permite visualizar un panorama acerca de la viabilidad económica y del potencial que este producto podría tener en el mercado.

A pesar de que los resultados obtenidos son satisfactorios e innovadores, se recomienda que en investigaciones futuras se trabaje otros métodos de extracción de proteínas y de métodos de secado que representen un menor costo en producción. Además, de elaborar productos comerciales que se adecuen al estilo de vida de hoy en día y que cumplan con el contenido nutrimental para la aceptación de este alimento.

ANEXO A

Muestras liofilizadas del extracto de grillo doméstico (*Acheta domestica*)

Actividad de agua (α_w)

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	0,019594	0,002799	9,53	0,002
Error	8	0,002350	0,000294		
Total	15	0,021944			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0171391	89,29%	79,92%	57,16%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	0,2000	0,0283	(0,1721; 0,2279)
2	2	0,2100	0,0141	(0,1821; 0,2379)
3	2	0,1200	0,0141	(0,0921; 0,1479)
4	2	0,11500	0,00707	(0,08705; 0,14295)
5	2	0,1900	0,0141	(0,1621; 0,2179)
6	2	0,19500	0,00707	(0,16705; 0,22295)
7	2	0,2000	0,0283	(0,1721; 0,2279)
8	2	0,18500	0,00707	(0,15705; 0,21295)

Desv.Est. agrupada = 0,0171391

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación	
2	2	0,2100	A	
7	2	0,2000	A	
1	2	0,2000	A	
6	2	0,19500	A	
5	2	0,1900	A	
8	2	0,18500	A	B
3	2	0,1200	B	C
4	2	0,11500		C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Contenido de Humedad

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	14,7451	2,10644	58,17	0,000
Error	8	0,2897	0,03621		
Total	15	15,0348			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,190296	98,07%	96,39%	92,29%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	3,240	0,212	(2,930; 3,550)
2	2	2,0400	0,0849	(1,7297; 2,3503)
3	2	1,640	0,354	(1,330; 1,950)
4	2	2,2350	0,0778	(1,9247; 2,5453)
5	2	3,520	0,170	(3,210; 3,830)
6	2	3,380	0,198	(3,070; 3,690)
7	2	4,2100	0,0849	(3,8997; 4,5203)
8	2	4,465	0,177	(4,155; 4,775)

Desv.Est. agrupada = 0,190296

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
8	2	4,465	A
7	2	4,2100	A B
5	2	3,520	B C
6	2	3,380	C
1	2	3,240	C
4	2	2,2350	D
2	2	2,0400	D
3	2	1,640	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Luminosidad

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
--------	---------	---------

C2 8 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	57,2994	8,18563	173,15	0,000
Error	8	0,3782	0,04727		
Total	15	57,6776			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,217428	99,34%	98,77%	97,38%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	19,9150	0,0354	(19,5605; 20,2695)
2	2	21,150	0,240	(20,795; 21,505)
3	2	24,355	0,205	(24,000; 24,710)
4	2	23,370	0,354	(23,015; 23,725)
5	2	22,1650	0,1202	(21,8105; 22,5195)
6	2	20,075	0,233	(19,720; 20,430)
7	2	24,470	0,283	(24,115; 24,825)
8	2	24,9700	0,0566	(24,6155; 25,3245)

Desv.Est. agrupada = 0,217428

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
8	2	24,9700	A
7	2	24,470	A
3	2	24,355	A
4	2	23,370	B
5	2	22,1650	C
2	2	21,150	D
6	2	20,075	E
1	2	19,9150	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Valor α *

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	6,8128	0,97326	21,57	0,000
Error	8	0,3610	0,04512		
Total	15	7,1738			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,212426	94,97%	90,56%	79,87%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	4,205	0,163	(3,859; 4,551)
2	2	4,5700	0,1273	(4,2236; 4,9164)
3	2	3,970	0,269	(3,624; 4,316)
4	2	3,7750	0,0636	(3,4286; 4,1214)
5	2	5,5900	0,0707	(5,2436; 5,9364)
6	2	4,255	0,361	(3,909; 4,601)
7	2	5,6350	0,0354	(5,2886; 5,9814)
8	2	4,480	0,325	(4,134; 4,826)

Desv.Est. agrupada = 0,212426

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
7	2	5,6350	A
5	2	5,5900	A
2	2	4,5700	B
8	2	4,480	B
6	2	4,255	B
1	2	4,205	B
3	2	3,970	B
4	2	3,7750	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Valor b*

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	13,2076	1,88680	44,05	0,000
Error	8	0,3427	0,04284		
Total	15	13,5503			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,206972	97,47%	95,26%	89,88%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	6,375	0,262	(6,038; 6,712)
2	2	7,1050	0,0212	(6,7675; 7,4425)

3	2	8,305	0,177	(7,968; 8,642)
4	2	8,370	0,212	(8,033; 8,707)
5	2	8,340	0,354	(8,003; 8,677)
6	2	7,235	0,148	(6,898; 7,572)
7	2	8,295	0,205	(7,958; 8,632)
8	2	9,4750	0,0919	(9,1375; 9,8125)

Desv.Est. agrupada = 0,206972

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
8	2	9,4750	A
4	2	8,370	B
5	2	8,340	B
3	2	8,305	B
7	2	8,295	B
6	2	7,235	C
2	2	7,1050	C D
1	2	6,375	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Delta E

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

C2	7	68,2335	9,74764	109,62	0,000
Error	8	0,7113	0,08892		
Total	15	68,9448			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,298191	98,97%	98,07%	95,87%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	20,0576	0,1389	(19,5714; 20,5438)
2	2	22,0438	0,1035	(21,5576; 22,5301)
3	2	24,780	0,154	(24,293; 25,266)
4	2	24,493	0,295	(24,007; 24,979)
5	2	23,137	0,499	(22,651; 23,623)
6	2	21,1116	0,0538	(20,6254; 21,5978)
7	2	25,189	0,561	(24,702; 25,675)
8	2	26,4828	0,0674	(25,9965; 26,9690)

Desv.Est. agrupada = 0,298191

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
8	2	26,4828	A
7	2	25,189	B
3	2	24,780	B
4	2	24,493	B
5	2	23,137	C
2	2	22,0438	C D
6	2	21,1116	D E
1	2	20,0576	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

% Proteína

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	275,773	39,3961	426,11	0,000
Error	8	0,740	0,0925		
Total	15	276,512			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,304066	99,73%	99,50%	98,93%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	42,625	0,290	(42,129; 43,121)
2	2	43,180	0,297	(42,684; 43,676)
3	2	39,535	0,375	(39,039; 40,031)
4	2	39,285	0,233	(38,789; 39,781)
5	2	46,730	0,396	(46,234; 47,226)
6	2	47,0800	0,0566	(46,5842; 47,5758)
7	2	35,525	0,247	(35,029; 36,021)
8	2	35,895	0,389	(35,399; 36,391)

Desv.Est. agrupada = 0,304066

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
6	2	47,0800	A
5	2	46,730	A
2	2	43,180	B
1	2	42,625	B
3	2	39,535	C
4	2	39,285	C
8	2	35,895	D
7	2	35,525	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

% Grasas

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	48,6250	6,94643	302,18	0,000
Error	8	0,1839	0,02299		
Total	15	48,8089			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,151616	99,62%	99,29%	98,49%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	9,115	0,163	(8,868; 9,362)

2	2	11,875	0,233	(11,628; 12,122)
3	2	6,8100	0,0566	(6,5628; 7,0572)
4	2	9,185	0,148	(8,938; 9,432)
5	2	8,735	0,219	(8,488; 8,982)
6	2	11,2850	0,1202	(11,0378; 11,5322)
7	2	6,6700	0,0283	(6,4228; 6,9172)
8	2	8,3050	0,1202	(8,0578; 8,5522)

Desv.Est. agrupada = 0,151616

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
2	2	11,875	A
6	2	11,2850	A
4	2	9,185	B
1	2	9,115	B
5	2	8,735	B C
8	2	8,3050	C
3	2	6,8100	D
7	2	6,6700	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

% Cenizas

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	18,2899	2,61284	62,50	0,000
Error	8	0,3345	0,04181		
Total	15	18,6243			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,204466	98,20%	96,63%	92,82%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	6,6250	0,0778	(6,2916; 6,9584)
2	2	6,285	0,191	(5,952; 6,618)
3	2	6,0250	0,1344	(5,6916; 6,3584)
4	2	6,3300	0,0707	(5,9966; 6,6634)
5	2	9,365	0,262	(9,032; 9,698)
6	2	7,160	0,240	(6,827; 7,493)
7	2	6,020	0,297	(5,687; 6,353)
8	2	5,925	0,233	(5,592; 6,258)

Desv.Est. agrupada = 0,204466

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
5	2	9,365	A
6	2	7,160	B
1	2	6,6250	B C
4	2	6,3300	C
2	2	6,285	C
3	2	6,0250	C
7	2	6,020	C
8	2	5,925	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

% Carbohidratos

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	588,661	84,0945	637,08	0,000
Error	8	1,056	0,1320		
Total	15	589,717			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,363318	99,82%	99,66%	99,28%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	38,395	0,262	(37,803; 38,987)
2	2	36,620	0,806	(36,028; 37,212)
3	2	45,9900	0,0566	(45,3976; 46,5824)
4	2	42,965	0,233	(42,373; 43,557)
5	2	31,650	0,184	(31,058; 32,242)
6	2	31,095	0,375	(30,503; 31,687)
7	2	47,5750	0,0071	(46,9826; 48,1674)
8	2	45,410	0,325	(44,818; 46,002)

Desv.Est. agrupada = 0,363318

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
7	2	47,5750	A
3	2	45,9900	B
8	2	45,410	B
4	2	42,965	C
1	2	38,395	D
2	2	36,620	E
5	2	31,650	F
6	2	31,095	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Conductividad térmica

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	8,39582	1,19940	184,32	0,000
Error	8	0,05206	0,00651		
Total	15	8,44788			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0806681	99,38%	98,84%	97,54%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	20,4376	0,0660	(20,3061; 20,5691)

2	2	19,7796	0,0432	(19,6480; 19,9111)
3	2	20,480	0,142	(20,348; 20,611)
4	2	20,4509	0,0531	(20,3193; 20,5824)
5	2	19,8591	0,0833	(19,7276; 19,9907)
6	2	19,8038	0,0431	(19,6722; 19,9353)
7	2	21,7218	0,0412	(21,5903; 21,8534)
8	2	21,6346	0,1113	(21,5031; 21,7661)

Desv.Est. agrupada = 0,0806681

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación
7	2	21,7218	A
8	2	21,6346	A
3	2	20,480	B
4	2	20,4509	B
1	2	20,4376	B
5	2	19,8591	C
6	2	19,8038	C
2	2	19,7796	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Capacidad calorífica

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	7	96,20	13,744	5,18	0,017
Error	8	21,23	2,654		
Total	15	117,44			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,62919	81,92%	66,10%	27,68%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	156,03	1,98	(153,38; 158,69)
2	2	153,67	1,55	(151,01; 156,32)
3	2	150,948	0,438	(148,291; 153,604)
4	2	153,006	1,209	(150,349; 155,663)
5	2	155,86	1,90	(153,20; 158,52)
6	2	157,27	1,82	(154,61; 159,93)
7	2	157,51	1,69	(154,85; 160,16)
8	2	158,72	1,86	(156,06; 161,37)

Desv.Est. agrupada = 1,62919

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

C2	N	Media	Agrupación	
8	2	158,72	A	
7	2	157,51	A	
6	2	157,27	A	B
1	2	156,03	A	B
5	2	155,86	A	B
2	2	153,67	A	B
4	2	153,006	A	B
3	2	150,948		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Muestras liofilizadas de grillo doméstico (*Acheta domestica*)

Actividad de agua (a_w)

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	0,017837	0,005946	67,95	0,001
Error	4	0,000350	0,000088		
Total	7	0,018187			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0093541	98,08%	96,63%	92,30%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	0,30500	0,00707	(0,28664; 0,32336)
2	2	0,19500	0,00707	(0,17664; 0,21336)
3	2	0,20500	0,00707	(0,18664; 0,22336)
4	2	0,1900	0,0141	(0,1716; 0,2084)

Desv.Est. agrupada = 0,00935414

Contenido de humedad

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	4,40605	1,46868	304,39	0,000
Error	4	0,01930	0,00482		
Total	7	4,42535			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0694622	99,56%	99,24%	98,26%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	0,88500	0,00707	(0,74863; 1,02137)
2	2	0,6650	0,1061	(0,5286; 0,8014)
3	2	1,6900	0,0849	(1,5536; 1,8264)
4	2	2,5500	0,0283	(2,4136; 2,6864)

Desv.Est. agrupada = 0,0694622

Luminosidad

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	7,473	2,4909	3,95	0,109
Error	4	2,519	0,6298		
Total	7	9,992			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,793615	74,79%	55,88%	0,00%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	15,750	0,382	(14,192; 17,308)
2	2	14,215	0,530	(12,657; 15,773)
3	2	15,705	1,068	(14,147; 17,263)
4	2	16,940	0,976	(15,382; 18,498)

Desv.Est. agrupada = 0,793615

Valor α^*

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	0,8819	0,29397	3,27	0,141
Error	4	0,3599	0,08997		
Total	7	1,2418			

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,299958	71,02%	49,28%	0,00%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	1,8250	0,0919	(1,2361; 2,4139)
2	2	0,990	0,184	(0,401; 1,579)
3	2	1,665	0,516	(1,076; 2,254)
4	2	1,240	0,226	(0,651; 1,829)

Desv.Est. agrupada = 0,299958

Valor b*

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	1,5644	0,5215	3,59	0,125
Error	4	0,5814	0,1453		
Total	7	2,1458			

Resumen del modelo

	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
	0,381248	72,91%	52,58%	0,00%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	3,505	0,191	(2,757; 4,253)

2	2	4,665	0,502	(3,917; 5,413)
3	2	3,915	0,474	(3,167; 4,663)
4	2	4,375	0,262	(3,627; 5,123)

Desv.Est. agrupada = 0,381248

Delta E

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	58,960	19,6534	27,20	0,004
Error	4	2,890	0,7225		
Total	7	61,850			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,849987	95,33%	91,82%	81,31%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	1,53177	0,00565	(-0,13696; 3,20051)
2	2	7,998	0,162	(6,330; 9,667)
3	2	1,826	0,647	(0,157; 3,494)
4	2	5,72	1,56	(4,05; 7,39)

Desv.Est. agrupada = 0,849987

% Proteína

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	319,300	106,433	157,48	0,000
Error	4	2,703	0,676		
Total	7	322,004			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,822101	99,16%	98,53%	96,64%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	49,950	0,297	(48,336; 51,564)
2	2	53,920	1,329	(52,306; 55,534)
3	2	62,130	0,679	(60,516; 63,744)
4	2	65,820	0,622	(64,206; 67,434)

Desv.Est. agrupada = 0,822101

% Grasas

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	17,0286	5,67621	344,80	0,000
Error	4	0,0658	0,01646		
Total	7	17,0945			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,128306	99,61%	99,33%	98,46%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	20,470	0,184	(20,218; 20,722)
2	2	21,2250	0,0778	(20,9731; 21,4769)
3	2	24,3300	0,0424	(24,0781; 24,5819)
4	2	21,570	0,156	(21,318; 21,822)

Desv.Est. agrupada = 0,128306

% Cenizas

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

C2	3	0,1321	0,04403	0,49	0,709
Error	4	0,3611	0,09027		
Total	7	0,4932			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,300458	26,78%	0,00%	0,00%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	4,585	0,431	(3,995; 5,175)
2	2	4,640	0,382	(4,050; 5,230)
3	2	4,415	0,148	(3,825; 5,005)
4	2	4,3200	0,0849	(3,7301; 4,9099)

Desv.Est. agrupada = 0,300458

% Carbohidratos

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	488,334	162,778	277,96	0,000
Error	4	2,342	0,586		
Total	7	490,677			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
---	---------	--------------------	----------------

0,765253 99,52% 99,16% 98,09%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	24,110	0,552	(22,608; 25,612)
2	2	19,550	1,131	(18,048; 21,052)
3	2	7,435	0,488	(5,933; 8,937)
4	2	5,740	0,721	(4,238; 7,242)

Desv.Est. agrupada = 0,765253

Conductividad Térmica

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	1,79433	0,598110	153,10	0,000
Error	4	0,01563	0,003907		
Total	7	1,80996			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0625030	99,14%	98,49%	96,55%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	18,1772	0,0589	(18,0545; 18,2999)
2	2	17,6532	0,0544	(17,5305; 17,7759)
3	2	16,9579	0,0792	(16,8352; 17,0806)

4 2 17,1505 0,0540 (17,0278; 17,2732)
Desv.Est. agrupada = 0,0625030

Capacidad calorífica

ANOVA de un solo factor: C1 vs. C2

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	4	1; 2; 3; 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	3	74,2936	24,7645	160,93	0,000
Error	4	0,6156	0,1539		
Total	7	74,9092			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,392286	99,18%	98,56%	96,71%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	2	153,536	0,243	(152,765; 154,306)
2	2	153,581	0,703	(152,811; 154,351)
3	2	158,351	0,052	(157,581; 159,121)
4	2	160,551	0,245	(159,781; 161,322)

Desv.Est. agrupada = 0,392286

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Hernandez, W. (2009). *Evaluación de rehidratación del liofilizado de aguacate crillo (Persea americana Mill. variedad Drimifolia) mediante análisis de imágenes*. México: Instituto Politécnico Nacional .
- Apolo-Arévalo, L., & Iannacone, J. (Diciembre de 2015). Crianza Del Grillo (*Acheta domesticus*) Como Fuente Alternativa De Proteínas Para El Consumo Humano. *Scientia*, 17, 161-173.
- AppliChem, P. (s.f.). Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldahl. *ITW Reagents*.
- Barbosa-Cánovas, G., Fontana Jr, A., Schmidt, S., & Labuza, T. (2020). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. USA: Wiley. doi:10.1002/9780470376454
- Barrientos-Lozano, L. (2004). ORTHOPTERA. In J. Llorente Bousquets, J. J. Morrone, O. Yáñez Ordoñez, & I. Vargas Fernández, *Biodiversidad, Taxonomía Y Biogeografía De Artrópodos De México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. (Vol. IV, pp. 605-608). México: Facultad de Ciencias. UNAM.
- Contreras Monzón , C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratados*. . Valencia : Universidad politécnica de Valencia .
- Damodaran, S. (2000). Aminoácidos, péptidos y proteínas. En O. R. Fennema, *Química de los Alimentos* (págs. 384-505). Acribia, Editorial S.A.
- Delmoro, J., Muñoz, D., Nadal, V., Clamentz, A., & Pranzetti, V. (noviembre de 2010). El Color En Los Alimentos: Determinación De Color En Mieles. *Invertip*, 13, 145-152.
- Eilenberg, J., & J. A. van Loon, J. (2018). Insects: Key Biological Features. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*, 11. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_1
- FAO, & FINUT. (2012). *Grasas y ácidos grasos en nutrición humana*. Granada, España: Ginebra.
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Bodqvist, S., & Vagsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domesticus*) as a novel food: a risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*, 137-157.
- Fricke, B., & Becker, B. (2001). Evaluation of thermophysical property models for foods. *HVAC&R Research*, 7, 311-330.

- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. CECSA.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hart, F. (1991). *Análisis moderno de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- HunterLab. (2012). *Measuring Color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L*a*b*. Hunter Associates Laboratory Inc.
- Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2020). Effect of Acheta domesticus (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110032>
- Iturbe, F., & Sandoval, J. (2011). *Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- J. Walker, T. (2020). House cricket, Acheta domesticus (Linnaeus)(Insecta:Orthoptera:Gryllidae). *UF/IFAS Extension*.
- K. Nidiritu, A., N. Kinyuru, J., M. Kenji, G., & N. Gichuhi, P. (2017). Extraction technique influences the physico-chemical characteristics and functional properties of edible crickets (Acheta domesticus) protein concentrate. *Food Measure. Springer*. doi: 10.1007/s11694-017-9584-4
- Khatun, H., Claes, J., Smests, R., De Winne, A., Akhtaruzzman, M., & Van Der Borgh, M. (2021). Characterization of freeze-dried, oven-dried and blanched house crickets (Acheta domesticus) and Jamaican field crickets (Gryllus assimilis) by means of their physicochemical properties and volatile compounds. *European Food Research and Technology*, 1291-1305. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-021-03709-x>
- Kulma, M., Kourimiská, L., Plachý, V., Božík, M., Adámková, A., & Vrabec, V. (2018). Effect of sex on the nutritional value of house cricket, Acheta domestica L. *Food Chemistry*, 1-28. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.049>
- K. Murray, R., Bender, D., Botham, K., Kennelly, P., Rodwell, V., & Weil, P. (2012). *Harper. Bioquímica Ilustrada*. Mc Graw Hill.
- L.R. Payne, C., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). A systematic review of nutrient composition data available for twelve commercially available edible insects, and comparison with reference values. *Trends in Food Science & Technology*, 69-77.
- Lucas González, R., Fernández López, J., Pérez Álvarez, J., & Viuda Martos, M. (2019). Effect of drying processes in the chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from house cricket (Acheta domesticus). *European Food Research*

and Technology, 1451-1458. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03301-4>

- Márquez Siguas, B. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Medina García, L. (2013). *Obtención de maltodextrina por vía enzimática a partir del almidón de camote (Ipomoea batatas)*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Moreira, T., Gutiérrez, A., & Delgado, H. (1993). *Aspectos físicos relacionados con los aditivos en el proceso de liofilización, papel relevante de los carbohidratos*. Habana, Cuba: Centro Nacional de Investigaciones Científicas.
- OMS, O. (2018). *Aditivos alimentarios*.
- Orrego Alzate, C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez Horcajo, I. (2018). *Caracterización de la harina de grillo común (Acheta domestica) y el estudio de las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales al introducirla en una crema de cacao saludable*. España: Universidad Miguel Hernández de Elche.
- R. Ferrier, D. (2014). *Bioquímica*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sahin, S., & Güllüm Sumnu, S. (2006). *Physical properties of foods*. New York, NY: Springer.
- Singh, P., & Heldman, D. (1998). *Introducción a la ingeniería de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Singh, R., & Heldman, D. (2001). *Introducción a la ingeniería de los alimentos*. Orlando, Florida: Acribia, S.A.
- van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Rome: Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- W. Aurand, L., Woods, A. E., & R. Wells, M. (1987). *Food Composition and Analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Zargozano J., F. (2018). *Entomofagia: ¿una alternativa a nuestra dieta tradicional?*
- Zielinska, E., Karas, M., Jakubczyk, A., Zielinski, D., & Baraniak, B. (2019). Edible Insects as Source of Proteins. *Springer Nature Switzerland*. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_67